

(19) Japan Patent Office (JP)

(11) Japanese Unexamined Patent Application Publication Number

## (12) Japanese Unexamined Patent Application Publication (A)

H8-037149

(43) Publication date: February 6, 1996

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>	Identification Symbol	Office Reference Number	FI	Technical indication location
H 01 L 21/027 G 03 B 27/32 G 03 F 7/207	F H			H 01 L 21/30 526 B

Request for examination: Not yet requested No. of claims: 5 OL (Total of 17pages)

(21) Application No.	Patent application no. H7-72874	(71) Applicant	000004112 Nikon Corp. 3-2-3 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo
(22) Date of Application	March 30, 1995	(72) Inventor	Yuji Imai c/o Nikon Corp. 3-2-3 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo
(33) Priority Claim Number	Patent application no. H6-103847		
(32) Date of Priority	May 18, 1994		
(33) Priority Country	Japan	(74) Agent	Satoshi Omori, patent attorney

(54) Title of the invention: Projection Exposure Apparatus(57) Abstract

Purpose: To fit each shot area to an image plane in an optimum condition by a projection optical system and perform exposure, regardless of any irregularities in the shot area on a photosensitive substrate.

Configuration: A projection exposure apparatus detects positions at the measurement points P1 to P5 in the Z-direction on the shot area of the wafer W, and obtains the distribution of the irregularities in the shot area based on the detected result and the pre-known process structure data. For example, when the pattern having the narrowest line width is exposed in the pattern area 40B, the pattern area 40B is made as a focusing reference plane and the difference in level ( $Z_A - Z_B$ ) of another area of which reference is pattern area 40B is added to the level of the best image plane 42 as an offset value. The pattern area 40B is focused to the best image plane 42 by fitting image plane 42A after the addition to the exposure surface.

Scope of Patent Claims

Claim 1

A projection exposure apparatus; characterized in that it has  
a projection optical system which projects a mask pattern onto a  
photosensitive substrate,  
a substrate stage which holds the substrate and positions the substrate in a  
plane perpendicular to an optical axis of the projection optical system,  
a focus leveling stage which adjusts an inclination of the substrate and a level  
of the substrate in a direction along the optical axis of the projection optical system,  
a focusing projection optical system which projects an image of a focus-  
detecting pattern onto a plurality of measurement points in an exposure area by the  
projection optical system obliquely relative to the optical axis of the projection optical system  
using non-photosensitive light to which the substrate is not sensitive,  
a light-receiving optical system which collects the reflected light from the  
plurality of measurement points and re-images the focus detecting pattern on the  
plurality of measurement points,  
a plurality of photoelectric detecting devices which generates detected signals  
corresponding to horizontal displacement value of a plurality of images which are re-  
imaged by the light-receiving optical system,  
a control device which controls the operation of the focus leveling stage based  
on the detected signals from the plurality of photoelectric detecting device, and  
an arithmetic unit which obtains an offset value for fitting a focusing reference  
plane on the substrate to an image plane by the projection optical system separately  
for each of the plurality of measurement points, based on respective detection signals  
of the photoelectric detecting device corresponding to the plurality of measurement  
points and the process structure of an exposure plane of the substrate.

Claim 2

A projection exposure apparatus described in Claim 1; characterized in that  
the substrate stage is driven so as to move the substrate with the image of the  
focus-detecting pattern being projected from the focusing projection optical system  
onto the exposure area by the projection optical system, whereby detection signals of  
the photoelectric detecting device, which correspond to a plurality of measurement  
points distributed over the entire surface in the exposure area, are obtained, and  
the arithmetic unit obtains the offset value for fitting the focusing reference  
plane on the substrate to an image plane by the projection optical system separately  
for each of the plurality of measurement points, based on detection signals of the  
photoelectric detecting device at the plurality of measurement points distributed over  
the entire surface and the process structure of the exposure plane of the substrate.

Claim 3

A projection exposure apparatus described in Claim 1 or Claim 2;  
characterized in that  
a light beam used when the image of the focus-detecting pattern is projected from the  
focusing projection optical system onto the exposure area by the projection optical  
system that has a band width of 100 nm or more.

Claim 4

A projection exposure apparatus described in Claim 1, Claim 2 or Claim 3;  
characterized in that

an optical filter, for making uniform a wave-length sensitive characteristics of  
a light beam which is used when the image of the focus-detecting pattern is projected  
from the focusing projection optical system onto the exposure area by the projection  
optical system, is located in an optical path between the focusing projection optical  
system and the plurality of photoelectric detecting devices.

Claim 5

A projection exposure apparatus described in Claim 1, Claim 2, Claim 3, or  
Claim 4; characterized in that

the arithmetic unit corrects a desirable value corresponding to a level of an  
image plane by the projection optical system using the offset values which are  
obtained separately for each of the plurality of measurement points.

Detailed Description of the Invention

[0001]

Industrial Field of Utilization

The present invention relates to a projection exposure apparatus for  
transferring a mask pattern such as a circuit pattern on a photosensitive substrate, and  
more particularly, it relates to a projection exposure apparatus provided with a focus  
detection device for focusing on the photosensitive substrate.

[0002]

Prior Art

In the conventional projection exposure apparatus, when a pattern of a reticle  
(a photomask or the like) is projected onto a photosensitive substrate (a wafer, a glass  
plate or the like on which a photoresist layer is coated) through a projection optical  
system with a high resolution and the substrate is exposed, an exposure surface on the  
photosensitive substrate must accurately coincide with the image plane of the pattern  
on the reticle, that is, focusing of the pattern of the reticle is necessary. Recently,  
while the focal depth of the projection optical system has become narrower, a depth of  
only about  $\pm 0.7 \mu\text{m}$  can be obtained under the present state through an i line having  
the wavelength of 365 nm being used as an illumination light for exposure.

Moreover, a projection visual field of the projection optical system tends to expand

year by year, so that it is desirable that a largest focal depth is obtained in all of a broad exposure visual field (for example, a square having side of 22 mm).

[0003]

To achieve satisfactory focusing across the broad exposure visual field, a better flatness of a partial area (shot area) on the photosensitive substrate within the exposure visual field and a better flatness of the image plane (that is, the curvature and the inclination of the image plane are small) must be obtained. The curvature and the inclination of the image plane are mainly dependent on the optical performance of the projection optical system, in addition, they are sometimes dependent on the flatness of the reticle and/or the parallelism between the reticle and the substrate. On the other hand, the flatness of the partial area on the photosensitive substrate, which is the flatness of each projection exposure area (shot area) differs, from substrate to substrate. However, the surface in the shot area on the photosensitive substrate can be set in parallel with the image plane by inclining a holder for holding the photosensitive substrate by a small angle.

[0004]

The methods for performing focusing under consideration of the surface inclination in a one shot area on the photosensitive substrate are disclosed in Japanese Patent Application Publication No. 58-113706 and Japanese Patent Application Publication No. 55-1348. Particularly, Japanese Patent Application Publication No. 55-1348 discloses the technique, wherein spots of the light beam are projected at four points on a photosensitive substrate through a projection optical system and then a spot image formed by the reflected light is photo-detected and focusing of the photosensitive substrate and correction of the inclination thereof (leveling) is carried out.

[0005]

However, since recent semiconductor devices are manufactured by superposing many complex structure patterns on a substrate, the flatness of the exposure surface on the photosensitive substrate becomes worse. Therefore, a technique has been developed wherein an irregular condition in the shot area on the photosensitive substrate is measured and then an average surface in the shot area is focused onto the image plane by the projection optical system based on the measured result. For example, Japanese Patent Application Publication No. 2-198130 discloses a surface position detecting method, wherein photosensitive substrate is fixed in the direction along the optical axis of the projective optical system but moved in the direction perpendicular to the optical axis, the positions (focus position) in the direction along the optical axis of the projective optical system are measured at a plurality of measurement points in the shot area on the photosensitive substrate, and then the average of the measured results is obtained, whereby the offset value of the

focus position, which is based on the differences in structure and/or position of the patterns in the shot area, is obtained. In this method, the average focus position is measured in consideration of the irregularities in the shot area by adding the offset value to the measured result of the focus position at each shot area, for example, at the center measurement point.

[0006]

Problems to Be Solved by the Invention

As described above, in the conventional projection exposure apparatus, the offset value of the focus position is obtained by averaging the focus positions measured at a plurality of specific measurement points. However, in practice, the irregularity conditions of the exposure surface in each shot area on the photosensitive substrate vary in accordance with the process construction (such as arrangements and differences in level of patterns), so that, the average surface shape at each shot area cannot be obtained accurately only by averaging the focus position at a plurality of specific measurement points. Therefore, if the arrangement, the differences in level and the like of the pattern in each shot area on the photosensitive substrate change, there is a disadvantage that the average surface in each shot area can sometimes not be placed within a range of the focal depth with respect to the image plane of the projection optical system.

[0007]

Moreover, it is difficult to match the area to the image plane by the conventional method even when the average surface in each shot does not match with the image plane, and, an area within the shot area, in which a pattern with the narrowest line width is exposed, is mainly matched to the image plane. It is an object of the present invention to provide a projection exposure apparatus, wherein each shot area can be fitted to an image plane by a projection optical system in an optimum condition and be exposed, irrespective of any irregularities in each shot area on a photosensitive substrate.

[0008]

Means to Solve Problems

A projection exposure apparatus is provided with a projection optical system (PL) which projects a mask pattern (R) onto a photosensitive substrate (W), a substrate stage (21) which holds the substrate and positions the substrate in a plane perpendicular to an optical axis (AX) of the projection optical system (PL), a focus leveling stage (20) which adjusts an inclination of the substrate and a level of the substrate in a direction along the optical axis of the projection optical system (PL), a focusing projection optical system (1 to 6) which projects an image of a focus-detecting pattern (ST) onto a plurality of measurement points (P1 to P5) in an exposure area (SA) by the projection optical system (PL) obliquely relative to the

optical axis (AX) of the projection optical system (PL) using non-photosensitive light to which the substrate is not sensitive, a light-receiving optical system (7 to 10) which collects the reflected lights from the plurality of measurement points to re-image the focus detecting pattern on the plurality of measurement points, a plurality of photoelectric detecting devices (15, 13, and 17) which generates detected signals corresponding to horizontal displacement value of a plurality of images which are re-imaged by the light-receiving optical system, a control device (30 and 18) which controls the operation of the focus leveling stage (20) based on the detected signals (FSa to FSe) from the plurality of photoelectric detecting device, and an arithmetic unit (30B) which obtains an offset value for fitting a focusing reference plane (40B) on the substrate (W) to an image plane (42) by the projection optical system (PL) separately for each of the plurality of measurement points, based on respective detection signals of the photoelectric detecting device corresponding to the plurality of measurement points and the process structure of an exposure plane of the substrate (W).

[0009]

In this case, it is preferable that the substrate stage (21) is driven so as to move the substrate (W) with the image of the focus-detecting pattern (ST) being projected from the focusing projection optical system onto the exposure area (SA) by the projection optical system (PL), whereby detection signals of the photoelectric detecting device which correspond to a plurality of measurement points distributed over the entire surface in the exposure area (SA) are obtained, and the arithmetic unit (30B) obtains the offset value for fitting the focusing reference plane (40B) on the substrate to an image plane (42) by the projection optical system (PL) separately for each of the plurality of measurement points, based on detection signals of the photoelectric detecting device at the plurality of measurement points distributed over the entire surface and the process structure of the exposure plane of the substrate.

[0010]

In addition, it is preferable that a light beam (IL) used when the image of the focus-detecting pattern (ST) is projected from the focusing projection optical system onto the exposure area (SA) by the projection optical system (PL) that has a band width of 100 nm or more. In addition, it is preferable that an optical filter (60), for making uniform a wave-length sensitive characteristics of a light beam which is used when the image of the focus-detecting pattern (ST) is projected from the focusing projection optical system onto the exposure area by the projection optical system (PL), is located in an optical path between the focusing projection optical system and the plurality of photoelectric detecting devices.

[0011]

Furthermore, the arithmetic unit (30B) corrects a desirable value corresponding to a level of an image plane (42) by the projection optical system (PL) using the offset values which are obtained separately for each of the plurality of measurement points.

[0012]

Action

According to the present invention, as shown in Fig. 8(a), the images of the focus-detecting pattern are projected onto the plurality of measurement points (P1 to P5) within the exposure area of the projection optical system on the substrate (W) and re-imaged by the light-receiving system, and the detected signals (FSa to FSe) corresponding to the horizontal displacement values of the re-imaged image are outputted from the photoelectrical detecting device (such as picture elements of the array sensor 15 in Fig. 7). In an oblique incident type, the horizontal displacement value of the re-imaged image is almost proportional to the position (the focus position) of the corresponding measurement point in the direction along the optical axis of the projection optical system (PL). Therefore, the focus positions ( $Z_1$  to  $Z_5$ ) of the corresponding measurement points can be calculated from the detected signals.

[0013]

However, in practice, as shown in Fig. 8(a), there are cases where an irregular pattern is formed by the exposure process and the like carried out previously. When there are such irregularities, if a surface on which the pattern with the narrowest line width (for example, it is known that the surface sinks relative to the peripheral portion) is presumed to be the surface (40B), it is desirable that the surface (40B) coincides with the image plane (42). In this case, it is understood that if the value (focus position) of the detected signal measured at the measurement point (P3) is the smallest, for example, the measurement point (P3) is on the surface (40B). Thus, it is presumed that the surface (40B) is a focusing reference plane on the substrate (W), and, the detected signals corresponding to difference in level ( $Z_A$  to  $Z_B$ ) between the reference plane (40B) and another exposure surface (40A and 40C) and obtained based on the process structure data are offset values at other measurement points (P1, P2, P4, and P5). The offset value is 0 at the measurement point (P3).

[0014]

Then, if focusing and leveling are performed based on the value that the offset value is subtracted from the actual detected signal, the reference plane (40B) is focused on the image plane (42) as shown in Fig. 8(b). When the plurality of measurement points (P1 to P5) on the substrate (W) are arranged substantially on the diagonal line of the exposure area (SA), for example, as shown in Fig. 5, the detected signals at the measurement points distributed over the entire surface of the exposure area (SA) can be obtained by scanning the substrate (W) in a predetermined direction

(X-direction) relative to the projected image of the focus-detecting pattern on the measurement points (P1 to P5). Therefore, though complex irregularities are distributed over the exposure area (SA), a predetermined portion of the surface (such as the area exposed by the pattern with the narrowest line width) in which the irregularities are distributed is used as the reference plane, and a detection signal corresponding to the difference in level between the reference plane and other portions is used as an offset value at each measurement point. With this arrangement, the reference surface can be focused.

[0015]

Next, according to another example of the procedure for performing focusing and leveling, for example, in Fig. 8(a), first, an offset value corresponding to the difference in level ( $Z_A$  to  $Z_B$ ) between the reference plane (40B) and other surfaces (40A, 40C) is obtained based on the detected signal by the photoelectric detecting device and the process structure, and then the offset value is added to the level of the detected signal corresponding to the level of the image plane (42). The surface corresponding to the above added result is shown as a dotted-line surface (42A). Thus, with the least square method, the level of the substrate (W) is controlled so as to minimize the difference between the detected signals at the respective measurement points (P1 to P5) and the detected signal of the surface (42A), whereby as shown in Fig. 8(b), the reference plane (40B) is focused at an actual image plane (42).

[0016]

When the light beam (IL), which is used while the image of the focus-detecting pattern (ST) is projected from the focusing projection optical system onto the exposure area (SA) by the projective optical system (PL), has a bandwidth 100 nm or more, the adverse effect and the like by a thin film interference in the photosensitive material (photoresist or the like) on the substrate (W) can be reduced. Further, when an optical filter (60), for making uniform the wavelength sensitive characteristics of the light beam used when the image of the pattern for level-detecting (ST) is projected from the focusing projection optical system onto the exposure area by the projection optical system (PL), is placed in the optical path from the projection optical system to the plurality of photoelectric detecting devices, even if the light intensity distribution of the focus detecting illumination light for each wavelength is uniform such as, for example, in Fig. 15(a), the transmittance distribution of the optical filter is set, for example, as shown in Fig. 15(b) so that the optical filter (60) has characteristics reverse to the light intensity distribution of the illumination light. With this arrangement, the wavelength characteristics of the detected signal obtained from the photoelectric detecting device becomes flat as shown in Fig. 15(d). Therefore, the level can be detected accurately without any large effects from the signal having a specific wavelength.

[0017]

Embodiments

Hereunder, a detailed description of one embodiment of a projection exposure apparatus according to the present invention will be given with reference to the drawings. Fig. 1 is a view showing a focus detecting system of the TTL (through the lens) type for detecting a best focus plane (image plane) of a projection optical system in the projection exposure apparatus of this embodiment. In Fig. 1, a reticle R, of which the undersurface is formed with a pattern area PA of a circuit for manufacturing an actual device, is held by a reticle holder (not shown). An optical axis AX of a projection optical system PL, which is shown in a model wherein a front group and a rear group are separated and a diaphragm surface (pupil surface) EP is put therebetween, passes through the center of the reticle R, that is, the center of the pattern area PA perpendicular to the reticle pattern surface. It is presumed that a Z-axis is parallel to the optical axis AX, a X-axis is parallel with the paper surface of Fig. 1 in the plane perpendicular to the Z-axis, and a Y-axis is perpendicular to the paper surface of Fig. 1.

[0018]

Under the projection optical system PL, a Z-leveling stage 20 for holding a wafer W coated with photoresist is placed on a XY stage 21. The Z-leveling stage 20 moves the wafer W by a micro value (for example, within  $\pm 100 \mu\text{m}$ ) in the direction along the optical axis AX to perform focusing, and controls the inclination angle of the wafer W to perform leveling. The XY stage 21 moves the wafer W two-dimensionally in the XY-plane perpendicular to the optical axis AX, and the coordinates of the XY stage 21 in the X-direction and in the Y-direction are measured at all times by means of a laser interferometer (not shown).

[0019]

Further, a reference mark plate FM is fixed on the upper surface of the Z-leveling stage 20 at substantially the same level position as the surface of the wafer W. As shown in Fig. 2(a), the reference mark plate FM is provided with a slit mark ISy having a plurality of light-transmissible slits extending in the X-direction and arranged in the Y-direction at a constant pitch, a slit mark ISx having a plurality of light-transmissible slits extending in the Y-direction and arranged in the Y-direction at a constant pitch, and a slit mark ISa extending in the direction including by  $45^\circ$  relative to X- and Y-directions, respectively. The entire surface of the quartz reference mark plate FM is evaporated with a chrome layer (shading layer) and is curved so as to form the slit marks ISx, ISy and ISa as transparent parts.

[0020]

Referring to Fig. 1, a mirror M1, an objective lens 50 and an emission end of an optical fiber are placed under the reference mark plate FM (inside of the Z-leveling

stage 20). An illumination light from the emission end of an optical fiber 51 is focused by the objective lens 50 and illuminates the slit marks ISx, ISy and ISa on the reference mark plate FM from the emitting end of the optical fiber 51. A beam splitter 52 is provided near the entrance end side of the optical fiber 51, and an exposure illumination light IE is introduced to the optical fiber 51 through a lens system 53. The illuminating light IE is desirable to be obtained from a light source (a mercury lamp, and excimer laser light source or the like) for illuminating the reticle R, however, another dedicated light source may be prepared. However, when another light source is used, the illumination light must have the same wavelength as the exposure illumination light or must have the very near wavelength.

[0021]

The illuminating condition of the reference mark plate FM by the objective lens 50 is equalized with the illuminating condition in the projection optical system PL as much as possible when the pattern is projected. That is, the numerical aperture (N.A.) of the illumination light at the image side of the projection optical system PL substantially coincides with the numerical aperture (N.A.) of the illumination light from the objective lens 50 to the reference mark plate FM. Now, with this arrangement, when the illumination light IE is introduced into the optical fiber 51, an image light beam entering into the projection optical system PL is produced from the slit marks ISx, ISy and ISa on the reference mark plate FM. In Fig. 1, the position of the Z-leveling stage 20 in the direction along the optical axis AX is set such that the surface of the reference mark plate FM is positioned slightly under the best image plane Fo (the conjugate surface with the reticle) of the projection optical system PL. In this case, an image light beam L1 emitted from one point on the reference mark plate FM, passes through the center of the pupil surface EP in the projection optical system PL, and converges on the surface Fr slightly shifted under the pattern surface of the reticle R and then diverges, thereafter, it reflects on the pattern surface of the reticle R and returns along the original optical path. The surface Fr is positioned so as to be optically conjugate with the reference mark plate FM with respect to the projection optical system PL. When the projection optical system PL is a double telecentric system, the image light beam on the reference mark plate FM from the slits mark ISx, ISy and ISa is reflected regularly on the lower surface of the reticle R (pattern surface) and returns so as to coincide with the slit marks ISx, ISy and ISa.

[0022]

However, as shown in Fig. 1, when the reference mark plate FM is displaced from the image plane Fo, fade reflected images of the respective slit mark ISx, ISy and ISa are formed on the reference mark plate FM. On the other hand, when the reference mark plate FM coincides with the image plane Fo, the surface Fr also coincides with the pattern surface of the reticle R. Therefore, sharp reflected images

of the respective slit marks ISx, ISy and ISa are formed on the reference mark plate FM so as to coincide with the respective marks. Fig. 2(b) shows typically the relation between the slit mark ISx when the reference mark plate FM defocuses and the reflected image IMx. In the double telecentric projection optical system PL, the reflected image IMx is projected in this manner on the slit mark ISx which is its source. When the reference mark plate FM is defocused, the reflected image IMx becomes larger than the slit mark ISx in the geometry and the illuminance per unit area is reduced.

[0023]

Therefore, the light beam of the image portions which are not shaded by the original slit marks ISx, ISy and ISa among the reflected images formed on the reference mark plate FM, is introduced into the optical fiber 51 through the mirror M1 and the objective lens 50 and the light beam emitted from the optical fiber 51 is received by a photoelectric sensor 55 through the beam splitter 52 and the lens system 54. The light-receiving surface of the photoelectric sensor 55 is placed at a position that is conjugate with the pupil surface (Fourier transformation surface) EP of the projection optical system PL. In Fig. 1, a contrast signal can be obtained for determining the imaged surface of the projection optical system PL only by moving the Z-leveling stage 20 upwardly (in the Z-direction).

[0024]

Figs. 3(a) and 3(b) show the respective signal level characteristics of the output signal KS of the photoelectric sensor 55, and the horizontal axis indicates the position of the Z-leveling stage 20 in the Z-direction, that is, the height of the reference mark plate FM in the direction along the optical axis AX. Fig. 3(a) shows the signal level when the slit marks ISx, ISy and ISa are projected onto the chrome portion in the pattern surface on the reticle R, and Fig. 3(b) shows the signal level when these slit marks are projected onto the glass portion (transparent portion) in the pattern surface. Generally, the chrome portion of the reticle is evaporated to a glass (quartz) plate with the thickness of about 0.3 to 0.5  $\mu\text{m}$ , thus, the reflectance of the chrome portion is much larger than that of the glass portion. However, since the reflectance of the glass portion does not become zero, the signal level is very low as shown in Fig. 3(b) but can be detected at the glass portion. Further, a reticle for manufacturing a real device has a high density pattern in general, so that there may be small probability that the projected images of all of the slit marks ISx, ISy and ISa are formed on the glass portion (transparent portion) in the reticle pattern.

[0025]

In any case, when the surface of the reference mark plate FM is moved in the direction along the optical axis AX so as to cross the best image plane Fo, the level of the output signal KS becomes the maximum value at the position Zo in the Z-

direction. Therefore, the position of the best image plane  $F_o$  can be obtained by measuring the position of the Z-leveling stage 20 in the Z-direction and the output signal  $K_S$  at the same time, and detecting the position in the Z-direction when the level of the output signal  $K_S$  reaches the maximum. Moreover, with this detecting method, the best imaged surface  $F_o$  can be detected at any position on the reticle  $R$ . Therefore, whenever the reticle  $R$  is set at a side of the object plane of the projection optical system  $PL$ , the absolute focus position (the best image plane  $F_o$ ) can be measured at any positions in the projection visual field of the projection optical system  $PL$ . And, as described above, the chrome layer of the reticle  $R$  has the thickness of 0.3 to 0.5  $\mu m$ , and when the projection magnification of the projection optical system  $PL$  is set at 1/5 (reduction), the detected error of the best image plane  $F_o$  caused by this thickness is  $(0.3 \text{ to } 0.5) \times (1/5)^2$ , that is, 0.012 to 0.02  $\mu m$ , this error can be neglected.

[0026]

Next, with reference to Fig. 4, an explanation will be given to an oblique incidence type AF system (a focus position detecting system) of this embodiment, but a multipoint AF type will be used in this explanation. The multipoint AF system is provided with measurement points for measuring a positional offset of the wafer  $W$  in the direction along the optical-axis (that is, focus dislocation) at plural points in the projection visual field of the projection optical system  $PL$ . In Fig. 4, an illumination light  $IL$ , to which is the photoresist on the wafer  $W$  is non-sensitive, is irradiated from a light source such as a halogen lamp (not shown) and illuminates a slit plate 1. Then, the light passed through a slit of the slit plate 1, illuminates obliquely the wafer  $W$  through a lens system 2, a mirror 3, a diaphragm 4, a projection objective lens 5 and a mirror 6. In this case, when the surface of the wafer  $W$  is in the best image plane  $F_o$  of the projection optical system  $PL$ , the image of the slit in the slit plate 1 is imaged on the surface of the wafer  $W$  by means of the lens system 2 and the objective lens 5. And, the angle between the optical axis of the objective lens 5 and the surface of the wafer is set at 5 to 12° and the center of the slit image of the slit plate 1 is positioned at the point where the optical axis  $AX$  of the projection optical system  $PL$  crosses with the wafer  $W$ .

[0027]

Now, the light beam of the slit image, which is reflected by the wafer  $W$ , form again a slit image on a light-receiving slit plate 14 through a mirror 7, a light-receiving objective lens 8, a lens system 9, an oscillating mirror 10 and a plane parallel plate (plane parallel) 12. The oscillating mirror 10 oscillates the slit image on the light-receiving slit plate 14 by a minute amplitude in the direction perpendicular to the longitudinal direction of the slit image. On the other hand, the plane parallel 12 shifts the relation between the slit on the slit plate 14 and the center of oscillation of

the slit image formed by the reflected light from the wafer W in the direction perpendicular to the longitudinal direction of the slit. The oscillating mirror 10 is oscillated by the mirror drive (M-DRV) 11 which is driven by the driving signal from the oscillator (OSC) 16.

[0028]

In this way, if the slit image oscillates on the light-receiving slit plate 14, the light beam which has passed through the slit plate 14 is received by an array sensor 15. The array sensor 15 is divided along the longitudinal direction of the slit in the slit plate 14 into a plurality of small areas and individual receiving picture elements are disposed in the respective small areas. A silicon photodiode, a phototransistor or the like is used as a photoelectric transfer element in the array sensor. The signals from the respective receiving picture elements in the array sensor 15 are selected or grouped through the selector circuit 13 and then supplied to a synchronous detection circuit (PSD) 17. The synchronous detection circuit 17 is supplied with an AC signal which has a same phase as the driving signal from the oscillator 16, and the signals from the receiving picture elements are rectified synchronously based on the phase of the AC signal.

[0029]

In this case, the synchronous detection circuit 17 is provided with a plurality of detecting circuits for synchronously and individually detecting the respective output signals of the plurality of receiving picture elements which are selected among the array sensor 15, and the respective detection output signals FS are supplied to the main control unit (MCU) 30. The respective detection output signals FS are referred to as S curve signals, and become the zero level when the center of the slit in the light-receiving slit plate 14 coincides with the center of oscillation of the reflected slit image from the wafer W, the positive level when the wafer W shifts higher than that state and the negative level when the wafer W shifts lower. Therefore, when the detection output signal FS becomes the zero level, the vertical position of the exposure surface (for example, the surface) on the wafer W is detected as a focused point. However, it is not assured that in this oblique incidence type, the vertical position of the wafer W at the focused point (the detection output signal FS is the zero level) always coincides with the best image plane  $F_o$  at any time. That is, the oblique incidence type has a virtual reference plane which is determined by the system itself, and when the virtual reference plane coincides with the exposure surface on the wafer W, the detection output signal FS from the synchronous detection circuit 17 reaches the zero level. The virtual reference plane is set so as to coincide with the best image plane  $F_o$  when an apparatus is manufactured, but this coincidence is not guaranteed to be maintained for a long period. Therefore, the best image plane  $F_o$  is detected, for example, by means of the focus detecting system in Fig. 1, and the plane parallel 12 in

Fig. 4 is inclined by controlling with the main control unit 30 based on this detected best image plane  $F_o$  to shift the virtual reference plane in the direction along the optical axis  $AX$ , whereby the virtual reference plane can coincide with the best image plane  $F_o$  (or, the positional relation can be determined).

[0030]

The main control unit 30 receives the output signal  $KS$  from the photoelectric sensor 55 in Fig. 1 and functions to calibrate the multipoint AF system of the oblique incidence type, set the inclination of the plane parallel 12, output a command signal  $DS$  to the drive (Z-DRV) 18 for driving the drive motor 19 of the Z-leveling stage 20 based on the respective detection output signals  $FS$  in the multipoint AF system and control the drive (the motor and the control circuit thereof are included) 22 for driving the XY stage 21.

[0031]

Fig. 5 is a view showing positional relation between the projection visual field  $If$  of the projection optical system  $PL$  and the slit image  $ST$  projected from the multipoint AF system onto the surface of the wafer  $W$ . The projection visual field  $If$  is generally circular and the shot area  $SA$  to which the pattern image in the pattern area  $PA$  of the reticle  $R$  is projected in a rectangle included in the circle. The slit image  $ST$  is projected onto the wafer  $W$  with its longitudinal axis being inclined by  $45^\circ$  with respect to the  $X$ -axis and the  $Y$ -axis, which are moving coordinate axes of the XY stage 21. The projection of the optical axes  $AF_x$  of the projection objective lens 5 and the receiving objective lens 8 to the wafer  $W$  extends in the direction perpendicular to the slit image  $ST$ . Moreover, the center of the slit image  $ST$  is set so as to substantially coincide with the optical axis  $AX$ . With this arrangement, the slit image  $ST$  is set so as to extend in the shot area  $SA$  for as far as possible.

[0032]

Generally, a circuit pattern, which has irregularities formed by a previous exposure step and the like, is formed in the shot area  $SA$ . In this case, as many processes for manufacturing a device are practiced repeatedly, variations in the irregularities will increase, and the irregularities will increase in the longitudinal direction of the slit image  $ST$ . Particularly, in the case where a plurality of chip patterns are arranged in one shot, scribe lines for separating the respective chip patterns extending in the  $X$ -direction or the  $Y$ -direction are formed, so that differences in level more than  $2 \mu m$  are created in an extreme case between points on the scribe lines and points on the chip patterns. The position where the scribe lines are formed in the slit image  $ST$  is known previously by the shot array in the design, the chip size in the shot and the like, so that it is possible to determine that a reflected light from any portion of the slit image  $ST$  in the longitudinal direction is either of the reflected light from the circuit pattern and the reflected light from the scribe line.

[0033]

Fig. 6 shows a state in which the light-receiving slit plate 14 and the array sensor 15 are separated. In Fig. 6, the slit plate 14 is deposited with a chrome layer (shading layer) on the entire surface of the glass substrate plate, and a transparent slit is formed at one portion thereof by etching. The slit plate 14 is fixed on a holding frame 14A, and the holding frame 14A is fixed on a print substrate 15A made of, for example, ceramics, for holding the array sensor 15 by means of screws (not shown). With this arrangement, the slit of the slit plate 14 is arranged so that it becomes parallel to the one-dimensional array of the receiving picture elements in the array sensor 15 and contacts with the light-receiving picture elements. It is preferable that the slit plate 14 and the array sensor 15 are brought close together or made to come into contact as much as possible but, an imaging lens system may be provided between the slit plate 14 and the array sensor 15, whereby the slit plate 14 and the array sensor 15 may be optically conjugated with each other. Here, the length of the slit image ST on the wafer W shown in Fig. 6 varies in accordance with the diameter of the projection visual field If, but, if the magnification of the projection optical system PL is 1/5 (reduction) and the diameter of the projection visual field If is about 32 mm, the length is preferred to be between 1 and 1/3 times as large as the diameter of the projection visual field If.

[0034]

Fig. 7 shows one example of a detailed circuit construction including the array sensor 15, the selector circuit 13, the synchronous detection circuit 17 and the main control unit 30. In Fig. 7, the selector circuit 13 is composed of five selector circuit sections 13A to 13E, and the synchronous detection circuit 17 is composed of five synchronous detection circuit sections 17A to 17E. A receiving picture element in the array sensor 15 is divided into five groups Ga to Ge, and one receiving picture element is selected from each group by the selector circuit 13. In this case, the groups Ga to Ge detect respectively the slit images before and after the five measurement points P1 to P5 along the slit image ST in Fig. 5. Further, in one example, in the selector circuit selections 13A to 13E, detected signals of the receiving picture elements which receive the slit images on the measurement points P1 to P5 are selected.

[0035]

Concretely, in Fig. 7, the group Ga of the receiving picture elements in the array sensor 15 includes therein a plurality of receiving picture elements, the receiving picture element, which detects the image on the measurement point P1, is selected by means of the selector circuit section 13A among the receiving picture elements, and then the output signal of the receiving picture element is supplied to the synchronous detection circuit 17A. In addition, the selector circuit section 13A functions to select

any one of receiving picture elements in the group Ga to send the output signal thereof to the synchronous detection circuit section 17A and arbitrarily select adjacent two or three receiving picture elements in the group Ga to send a signal, to which these output signals are added, to the synchronous detection circuit section 17A. Similarly, the output signals from the receiving picture elements in the groups Gb to Ge are selected in the selector circuit sections 13B to 13E, respectively, and the selected output signals are supplied to the synchronous detection circuit sections 17B to 17E, respectively.

[0036]

The synchronous detection circuits 17A to 17E receive the respective fundamental wave alternating signals from the oscillator 16 and output the detection output signals FSa to FSe, respectively. These detection output signals FSa to FSe are respectively converted to digital data by means of an analog/digital converter (ADC) 30A in the main control unit 30 and then supplied to a correction operation part 30B and a deviation detecting part 30C. The correction operation part 30B also receives data concerning the process structure of the wafer (including the data regarding the distribution of the irregularities on the exposure surface and the difference in level of the irregularities) from an exposure process data memory 30F, and an offset value for calibrating the signal from a memory 30D. Then, the correction operation part 30B calculates detection output values corresponding to target positions in the Z-direction at the respective measurement points on the wafer based on, for example, five detection output signal values, that is, the focus displacement values at five points on the wafer, the data concerning the process structure and the like, and supplies the values to the deviation detecting part 30C. The deviation detecting part 30C detects the deviation between the output value from the correction operation part 30B and the detection output value from the ADC 30A, and then supplies a command signal DS to the drive 18 shown in Fig. 4 so as to decrease the deviation.

[0037]

Concretely, for example, the deviation detecting part 30C controls the drive 18 so as to minimize the square sum of the deviation between the detection output signal as a target from the correction calculating part 30B and the detection output signals FSa to FSe from ADC 30A, that is, by the least square method. With this arrangement, the position in the Z-direction of the Z-leveling stage 20 and the inclination thereof are controlled and an average surface of the measurement points P1 to P5 in Fig. 5 is focused so as to coincide with the image plane of the projection optical system PL.

[0038]

Here, in Fig. 5, since the measurement points P1 to P5 are arranged on one line, the inclination to be controlled is only the inclination of the axis which is the

straight line perpendicular to the slit image ST on the surface of the wafer W. To control the inclination about two orthogonal axes on the wafer W, the measurement points P1 to P5 are arrayed two-dimensionally (for example, a plurality of pattern images are arranged in parallel, or formed so as to cross one another), or the shot area SA on the wafer W is scanned in a predetermined direction with respect to the slit image ST and then the distribution in the level of all of the shot area SA may be measured.

[0039]

Furthermore, in Fig. 7, the offset value, which is previously stored in the memory 30D, is measured and calculated by a calibration value determining part 30E. The calibration value determining part 30E obtains the deviation between the virtual reference plane in the multipoint AF system and the best focus plane Fo as a deviation voltage from the zero-level of the detected output based on five detection output signals FSa to FSe and the output signal KS from the photoelectric sensor 55. The calibration value determining part 30E includes an analog-digital converter for digital-sampling the respective level of five detection outputs and the signal KS (See Fig. 3) at the same time, a waveform memory and the like.

[0040]

Referring to Fig. 9, an explanation will be given to an embodiment of the calibration value determining part 30E. First, the output signal KS from the photoelectric sensor 55 in an absolute focus detecting system of the TTL (through the lens) type is inputted to an analog-digital converter (ADC) 300, and then converted to a digital value corresponding to the signal level so as to be stored in a RAM 301 as a memory. The addressing of the RAM 301 is performed by a counter 304, and both of the counting of the counter 304 and the conversion timing of the ADC 300 are synchronous with the clock pulse from the clock generator (CLK) 303. Similarly, one of the five detection output signals FSa to FSe is supplied to an ADC 305 through a selecting switch 308, and the digital value converted therein is stored in a RAM 306, in which the addressing is performed by a counter 307. Therefore, the waveform of the output signal KS and one selected, detection output signal, which vary with time, are received in the RAM units 301 and 306. The waveforms in the RAMs 301 and 306 are used as processing data in a processing part 310 when a smoothing, a detection of a maximum value and the like are performed.

[0041]

Further, the processing part 310 outputs a signal for controlling the uniform movement of the Z-leveling stage 20 in the Z-direction to the drive 18 so as to take the signal waveforms in the RAMs 301 and 306, and outputs the drive signals to the drive 22 for the XY stage shown in Fig. 4 for moving the centers of the slit marks ISx,

ISy and ISa in Fig. 2(a) to the respective measuring points of the multipoint AF system.

[0042]

Fig. 10(a) shows a waveform of variation characteristics in one detect output signal FS. The waveform corresponds to a waveform data which is stored in the RAM 306 when the Z-leveling stage 20 moves at a constant speed in the Z-direction within a limited area including the best focus plane. Fig. 10(b) shows the waveform of the signal KS which is stored in the RAM 301 at that time. The synchronous direction signal becomes a substantial point symmetric waveform with respect to the zero point and, therefore, a negative level data smaller than the zero point is analog-digital converted by taking the negative level into consideration.

[0043]

In the RAM 301 in Fig. 9, the waveform at the maximum value of the signal KS shown in Fig. 10(b) is stored in the address corresponding to the time  $t$ , so that the processing part 310 analyzes the waveform and obtains the time  $T_1$  at which the maximum point can be obtained. Then, the processing part 310 obtains an address point which corresponds to the time  $T_1$  in the RAM 306 and obtains a level  $\Delta FS$  of the detection output signal FS stored in the address point. The level  $\Delta FS$  is an offset voltage from the zero point of the detection output signal FS. At the measurement point in the multipoint AF system which generates the detection output as shown in Fig. 10(a), when the wafer surface at the measurement point is moved in the Z-direction in such a manner that the detection output is  $+\Delta FS$ , the wafer surface coincides with the best focus plane  $F_0$ .

[0044]

Here, when the circuit in Fig. 9 is used, the slit mark on the reference mark plate FM is positioned in such a manner that the center thereof is positioned at one of the respective measurement points in the AF system, by moving the XY stage 21 shown in Fig. 4. This positioning is not necessary to be strict. The measurement point in the multipoint AF system may be displaced from the center of the slit mark group by about 100  $\mu m$  in the X-direction and the Y-direction. Therefore, when the measurement points in the AF system, that is, the measurement points P1 to P5 in the slit image ST shown in Fig. 5 are determined, the position of the slit mark group is moved relative to these measurement points within a range of about  $\pm 100 \mu m$  in the X-direction and the Y-direction and is tilted in the Z-direction, whereby the coordinate position at which the peak of the signal KS becomes large to some extent may be obtained. This is to avoid as much as possible the disadvantage that all of the slit mark group coincide with the transparent portion of the reticle R (the SN ratio of the signal KS lowers), although the probability is very low. However, when the calibration is performed at a high speed, the offset value  $\Delta FS$  can be obtained with

similar accuracy though the coordinate position at which the peak of the signal becomes large is not searched. The offset values can be obtained for the respective measurement points P1 to P5.

[0045]

In this way, the values of the detection output signals FSa to FSe when the respective measurement points P1 to P5 of Fig. 5 coincide with the position of the best image plane in the Z-direction by the projection optical system PL, that is, the offset values BFa to BFe at the best image plane can be obtained. In Fig. 5, when the short area SA is scanned, for example, in the X-direction with respect to the slit image ST so as to obtain the detection output signals at the measurement points which are distributed on the entire surface of the short area SA, the offset value at each measurement point is one of the offset values BFa to BFe which are obtained as described above.

[0046]

Next, an explanation will be given to an example of the focusing and the exposure action in this embodiment with reference to Figs. 5, 8, 11 and 12. In this case, it is presumed that the values of the detection output signals FSa to FSe when the measurement points P1 to P5 in Fig. 5 are respectively focused on the image plane of the projection optical system PL, that is, the offset values BFa to BFe of the image plane with respect to a virtual reference plane in the multipoint AF system, are measured previously. If the rotation angle of the plane parallel 12 of Fig. 4 is adjusted, the offset values BFa to BFe can be made substantial 0 (zero), so that, the offset values BFa to BFe are values near to 0. The travelling surface along which the Z-leveling stage 20 moves when the XY stage 21 is driven and the best image plane of the projection optical system PL are substantially parallel.

[0047]

First, in the Step 101 in Fig. 11, the XY stage is driven so as to move the center portion of the short area SA to be measured (exposed) onto the projection area of the slit image ST from the oblique incident multipoint AF system as shown in Fig. 5. Then, in the step 102, the autofocus is performed at the measurement point P3, that is, the center of the slit image ST. That is, the height of the Z-leveling stage 20 in the Z-direction is adjusted in such a manner that the detection output signal FSc corresponding to the measurement point P3 becomes the offset value BFc of the best image plane, and then the Z-leveling stage 20 is locked in this state. Therefore, after that, the level and the inclination of the Z-leveling stage 20 are constant until the measurement is finished. The reason why autofocus is performed once is to prevent the distribution of irregularities in the shot area SA from getting out of the detection area in the multipoint AF system.

[0048]

However, in this embodiment, when there is a plane to be a reference plane inside or in the vicinity of the shot area SA, autofocus may be performed on this plane, instead of autofocus at the measurement point P3 at the center of the slit image ST in Step 102. In this case, there is no need that a measurement point is P3, and a measurement point which is nearest to this plane may be selected. Further, a measurement point to be autofocus may be determined using the exposure process data. In short, the measurement point is not necessary to be P3, but may be any point in the scanning area, if the displacement value at the focus position, which is detected by the multipoint AF system, is not displaced from the detection area (which is determined by the S curve), when the wafer is scanned by the slit image ST by means of the multipoint AF system.

[0049]

Next, in Step 103, the XY stage 21 is driven, so that the shot area SA is moved in the -X-position to the measurement starting position SB before the slit image ST with respect to the direction of scanning as shown in Fig. 5. Then, in Step 104, the XY stage 21 is driven and the shot area SA is scanned in the X-direction with respect to the slit image ST, and then the respective detection output signals FSa to FSe are stored in the memory in the correction operation part 30B. In this case, since the coordinate of the XY stage 21 is measured by a laser interferometer, the detection output signals FSa to FSe are sequentially stored at the addresses, which correspond to the coordinates measured by the laser interferometer, in the memory. Thereafter, in Step 105, the process differences in level in the shot area SA are classified based on the obtained detection output signals FSa to FSe (respective time series signals).

[0050]

Concretely, Fig. 8(a) shows a section in the shot area SA on the wafer W, and the measurement points P1 to P5 are set at this section. Actually, a photoresist is coated on the wafer W, however, the photoresist is omitted. In Fig. 8(a), when the respective measurement points P1 to P5 reach the virtual reference plane 41 in the multipoint AF system, the corresponding detection output signals FSa to FSe become zero respectively. And, it is assumed that the best image plane 42 of the projection optical system PL is displaced from the virtual reference plane 41 to some extent. In this case, a circuit pattern with a plurality of layers is formed on the wafer W, and accordingly, the surface thereof becomes irregular. For this reason, when the detection output signals, which can be obtained at the respective measurement points P1 to P5, are FSa to FSe, the values of these detection output signals correspond to the irregularities.

[0051]

For example, when the measurement points P1 and P2 are positioned on the pattern area 40A of the convex portion on the wafer W, the measurement point P3 is

positioned on the pattern area 40B of the concave portion and the measurement positions P4 and P5 are positioned on the pattern area 40C of the convex portion, the value of the detection output signal FSc at the measurement point P3 becomes a minimum. With this feature, the correction operation part 30B in Fig. 7 in this embodiment obtains the differences in the detection output signals corresponding to the adjacent measurement points to thereby obtain the distribution of the concave and convex portions in the shot area. The correction operation part 30B is supplied with the data concerning to the process structure from the exposure process data memory part 30F, so that the correction operation part 30B can distinguish the pattern areas 40A to 40C in which the measurement points P1 to P5 are positioned by comparing distribution of the concave and convex portions, which is obtained as described above, with the process structure.

[0052]

With this arrangement, it can be determined that the respective pattern areas 40A to 40C belong to any of a memory cell part, a peripheral circuit part (logic part) a scribe line or the like. The correction operation part 30B can recognize the difference in level  $Z_A$  of the respective pattern areas 40A and 40C and the difference in level  $Z_B$  of the pattern area 40B by the supplied data. These differences in level are difference in heights from the portion on which there is no circuit pattern of the wafer W, and as described later, differences in these levels are important.

[0053]

Further, the dispersion and the like of the detection output signal in each stepped area is obtained based on information regarding difference in level, which is obtained from the difference data between said adjacent measurement points, whereby a difference in level caused by a difference in the pattern intensity in each stepped area can be known. Therefore, stable measurement points around the measurement points P1 to P5 can be also obtained. Next, in Step 106, a surface to be focused on the shot area SA is determined as a focusing reference plane. For example, in Fig. 8(a), it is presumed that a pattern, which has narrowest line width, is exposed on the pattern area 40B with the measurement point P3, and the pattern area 40B is a focusing reference plane. However, there is a case in that the broadest (large) pattern area (such as the pattern area 40A) in the shot area SA is the focusing reference plane. The focusing reference plane may be selected and determined in accordance with the priority of focusing (which is determined based on the pattern line width, the pitch and the like) of each pattern area in the shot area.

[0054]

Then, in Step 107, offset values  $\Delta a$  to  $\Delta e$  for the detection output signals Fa to Fe in the measurement points P1 to P5 are obtained. In Fig. 8(a), if the conversion coefficient from the detection output signal to the displacement in the Z-direction is k,

the offset value  $\Delta c$  for the detection output signal  $F_c$  at the measurement point  $P_3$  on the pattern area  $40B$  which is the focusing reference plane is zero. The offset values  $\Delta a$ ,  $\Delta b$ ,  $\Delta d$ , and  $\Delta e$  for the detection output signals  $F_a$ ,  $F_b$ ,  $F_d$ , and  $F_e$  at the measurement points  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_4$ , and  $P_5$  are  $(Z_A - Z_B)/k$  respectively.

[0055]

Next in Step 108, the correction operation part 30B adds the offset values  $\Delta a$  to  $\Delta e$  obtained in Step 107 to the offset values  $BFa$  to  $BFe$  of the detection output signals on the best image plane 42 in Fig. 8(a). This is equal to that the best image plane 42 shown by the solid line is converted to the best image plane 42A including the virtual difference in level shown by the dotted line, therefore, the pattern areas  $40A$  to  $40C$  are focused to the virtual best image plane 42A.

[0056]

That is, in Step 109, the correction operation part 30B supplies the detection output signals of the virtual best image plane 42A, i.e.,  $(BFa + \Delta a)$  to  $(BFe + \Delta e)$  to the deviation detecting part 30C. The detection output signals  $F_a$  to  $F_e$  corresponding to the real pattern areas  $40A$  to  $40C$  are supplied to the deviation detecting part 30C in real time. Then, the deviation detecting part 30C supplied to the drive 18 for the  $Z$ -leveling stage 20 such drive signals as the square sum of the deviation between the offset values  $(BFa + \Delta a)$  to  $(BFe + \Delta e)$  and the detection output signals  $F_a$  to  $F_e$  obtained by using, for example, a least square method, become minimum. With this arrangement, as shown in Fig. 8(b), the pattern area  $40B$  which is the focusing reference plane coincides with the real best image plane 42. Then, in Step 110, the exposure operation is performed to exposure the pattern with the narrowest line width with a high resolution.

[0057]

At that time, the pattern areas  $40A$  and  $40C$  other than the pattern area  $40B$  are set within the focal depth of the projection optical system. However, in said Step 107, if the offset values  $\Delta a$  to  $\Delta e$  exceed the focal depth, for example, the focusing reference plane may be shifted in the  $Z$ -direction apparently in such a manner that the pattern areas  $40A$  and  $40C$  come into the focal depth by weighing the offset values  $\Delta a$  to  $\Delta e$ . This is available when the entire surface of the shot area is within the focal depth. Further, simply the focusing reference plane (pattern area  $40B$ ) may be shifted so that the pattern areas  $40A$  and  $40C$  are within the width of the focal depth.

[0058]

Here, as shown in Fig. 7, since this embodiment adopts a method of comparing a desired value with a real detection output signal in the deviation detecting part 30C, the offset values  $\Delta a$  to  $\Delta e$  of the differences in level are added to the best image plane 42 which is the desired value. However, in Fig. 7, when the method is adopted where the real detection output signal is corrected by offsetting and

supplied to the deviation detecting part 30C, the offset values  $\Delta a$  to  $\Delta e$  may be subtracted from the real detection output signals.

[0059]

Further, in actual, the detection output signals at the measurement points, which are distributed over the entire surface of the shot area SA in Fig. 5, are obtained, whereby the irregular distribution of concave and convex portions on the entire surface of the shot area SA is recognized. However, in Fig. 7, the detection output signals which are supplied from the ADC 30A in real time, are only the detection output signals at the five points on the slit image ST in Fig. 5. The inclination around the axis parallel with the slit image ST is not corrected only by using the data on the slit image ST. Then, the inclination of the wafer W around the axis parallel with the slit ST is corrected by such as an open loop. That is, the shot area SA is scanned with respect to the slit image ST, whereby, as shown in Fig. 8(a), the detection output signal of the virtual best image plane 42A and the detection output signal in the actual pattern area are obtained. Then, the relation between the control value for the drive 18 of Fig. 4 and the inclination of the Z-leveling stage 20 are obtained previously, and the inclination of the Z-leveling stage 20 is controlled so as to eliminate the difference between the detection output signal in the actual pattern area and the detection output signal of the virtual best image plane 42A. Therefore, with the open loop control, the pattern area, on which the pattern with the narrowest line width distributing over the entire surface of the shot area SA in Fig. 5 is exposed, is generally focused onto the best image plane in the projection optical system PL.

[0060]

Moreover, at Step 104 in Fig. 11, as shown as Step 104A, the detection output signals  $F_a$  to  $F_e$  may be stored in the memory whenever the XY stage 21 stops after stepping at a constant pitch in the X-direction, that is, at the constant pitch. With this method, the air fluctuation influence by the movement of the XY stage 21 can be reduced.

[0061]

Instead of the operation in Steps 101 to 102 in Fig. 11, Steps 111 to 112 in Fig. 12 may be used. That is, in Step 111, first, the XY stage 21 is driven so as to move the shot area SA to the measurement starting position SB as shown in Fig. 5. And then, in Step 112, autofocus is performed at the central measurement point P3 of the slit image ST in Fig. 5, and the focus position of the Z-leveling stage 20 is locked. Then, at Step 104 or 104A in Fig. 11, the detection output signals are sampled over the entire surface in the shot area SA. The processes after that are same as the operation in Fig. 11. In a sequence shown in Fig. 12, there is no waste in terms of the action of the wafer stage 21, so that the measurement can be performed efficiently.

[0062]

Further, in this embodiment, the travelling surface along which the Z-leveling stage 20 moves and the best image plane in the projection optical system PL are substantially parallel when the XY stage 21 is driven in Fig. 4. However, when the travelling surface along which the Z-leveling stage 20 moves and the image plane in the projection optical system PL are not parallel, the following correction operation is necessary. That is, the deviation (an inclination of an image plane, a curvature of an image plane and the like) between the travelling surface of the Z-leveling stage 20 and the image plane of the projection optical system PL while the XY stage 21 is driven is stored in the memory of the correction operation part 30B as a device constant. In this case, the detection output signal, which has been obtained by the method of Step 104 in Fig. 11, shows the measured result when the travelling surface of the Z-leveling stage 20 is a reference and, therefore, only the deviation value from the image plane, which has been stored as the device constant, is added to the measured result.

[0063]

And, in this embodiment, as shown in Fig. 5, the distribution of concave and convex portions is obtained in one shot area SA on the wafer W, however, the same measurements are performed in some (one or more) different shot areas on the wafer W and the obtained detection output signal are averaged, and then the distribution of concave and convex portions in the respective shot areas on the wafer may be obtained by comparing the averaged result with the process structure. With this arrangement, the effects such as the uneven coating can be reduced.

[0064]

Next, in this embodiment, as shown in Fig. 5, the position in the Z-direction is detected in the predetermined shot area SA on the wafer W, however, the position in the Z-direction may be detected at a pitch which is  $1/N$  ( $N$  is integer number) of the array pitch in the shot area over the entire surface of the wafer W. Concretely, if the array pitch of the shot area in the X-direction is  $P_x$ , the distance of between adjacent focus positional measurements in the X-direction is  $P_x/N$ , wherein  $N$  is the integer number 2 or higher. In this case, the detection output signal from the multipoint AF system changes repeatedly at the same cycle as the array pitch in the shot area.

[0065]

In this case, when there is foreign material such as dust on the exposure surface on the wafer or the exposure surface is deformed such as by camber of the wafer, the change in the output of the multipoint AF system in the shot area differs from that in another shot area. Thus, it is desirable for the shot area, in which the deviation from the average of the sampled detection outputs signals at the cycle corresponding to the array pitch in the shot area is above the predetermined threshold, to calculate separately an offset value of the detection output signal for the focusing reference plane. A process such as an assist process (operator call) may also be

performed as an alarm or an error for the shot area which subject to the effect such as by the foreign material or camber.

[0066]

Next, in this embodiment, the position in the Z-direction of the exposure surface on the wafer W (the focus position) is measured by the detection output signal FS which varies in an S-curve shape. The curve 44 in Fig. 13 shows one of the detection output signals FS. In Fig. 13, conventionally, the section, in which the curve 44 can be approximated by the straight line 45, is used to obtain the position in the Z-direction from the detection output signal FS. However, this method has a disadvantage that the position detecting area in the Z-direction is narrow. Therefore, to broaden the position detecting area, for example, the detection output signal FS (actually, the detection output signals FS<sub>a</sub> to FS<sub>e</sub> are each measured) while the Z-leveling stage 20 in Fig. 4 is moved in the Z-direction at the moving pitch  $\Delta Z$  is stored in the memory, that is, it is desirable that the curve 44 in Fig. 13 is obtained approximately. In this case, the value of the detection output signal FS is stored for the position in the Z-direction.

[0067]

Then, when the position in the Z-direction is measured actually, if the value of the detection output signal FS is  $V_i$ , the position  $Z_i$  in the Z-direction can be obtained correctly from the curve 44. However, if the curve 44 is approximated by the straight line 45, the position in the Z-direction is  $Z_h$  when the detection output signal is  $V_i$ , so that an error occurs. Next, in the above embodiment, the inclination of the Z-leveling stage 20 is controlled based on the actually measured result. However, the inclination of the image plane of the projection optical system PL relative to the surfaces of the XY stage 21 along which the Z-leveling stage 20 moves is already known and, therefore, the inclination may be controlled previously by the Z-leveling stage 20. With this arrangement, when the position in the Z-direction is detected by means of the multipoint AF system, the angular offset in the angle of inclination can be reduced, so that an offset value calculated at each measurement point becomes small. Therefore, the time for focusing can be shortened and the focusing accuracy can be improved.

[0068]

In the above embodiment, as shown in Fig. 4, with the angle of inclination of the plane parallel 12 placed in the light-receiving system of the multipoint AF system, the positional relation between the virtual reference plane and the best image plane in the multipoint AF system can be adjusted. This also means that the offset values which are common in the detection output signals FS<sub>a</sub> to FS<sub>e</sub> can be eliminated by the angle of inclination of the plane parallel 12.

[0069]

However, when the plane parallel 12 is provided only for the light-receiving system side, the correction volume is small, so that a plane parallel may be arranged at the light-sending system side. In this way, an image position is corrected by two plane parallel, whereby the correction volume of the image position can be made large. Further, the plane parallels are arranged both of the light-sending system and the light-receiving system so as to correct the image position, whereby the positional displacement of a bright and dark pattern on the wafer can be corrected also.

[0070]

If a plane parallel is arranged in the light-sending system in the multipoint AF system and when a common offset correction is performed using this plane parallel, for example, in Step 109 in Fig. 11, the positional displacement of the slit image ST on the wafer W is created between the case where the detection output signal is measured in Step 104 and the case where the detection output signal is measured in Step 109. Then, in order to reduce the influence of the positional displacement, the positional displacement value of the slit image ST on the wafer W relative to the angle of inclination of the plane parallel is measured previously, and the offset values to be added to the offset values of the best image plane for the respective measurement points may be corrected in Step 109 based on the previously measured positional displacement value.

[0071]

Next, in the above embodiment, as shown in Fig. 5, the slit image ST for detecting the position in the Z-direction is projected obliquely in the diagonal direction relative to the shot area SA on the wafer W, and five points on the slit image ST are selected as the measurement points P1 to P5. On the other hand, as shown in Fig. 14, N (N is 25 in Fig. 14) measurement points P11, P12, ... P74 may be set on the shot area SA two-dimensionally in the X-direction and the Y-direction with a predetermined pitch, and pattern images for detecting the focus may be projected on the measurement points, respectively. In this case, the number of receiving elements (receiving picture elements) for receiving the respective pattern images is the same as the number of measurement points. Thus, for example, if a synchronous detection method is used, it is difficult to process the photoelectric transfer signals of the pattern images from all measurement points in parallel. Therefore, for example, using the selector circuit sections 13A to 13E shown in Fig. 7, five photoelectric transfer signals are selected from the total photoelectric transfer signals (total number is N), and the synchronous detection may be performed time-divisionally. With the time-division method, the circuit structure can be made simple.

[0072]

In order to detect the focus, instead of projection of the slit image, for example, a grid-like bright and dark pattern with predetermined pitches may be

projected obliquely on the wafer. In this case, using the reflected light from the wafer, the grid-like bright and dark pattern is re-imaged on a two-dimensional image pickup element such as, for example, a two-dimensional CCD, and the positional displacement value in the Z direction on the exposure surface on the wafer can be obtained in accordance with the horizontal displacement value of the re-imaged image.

[0073]

A method wherein the slit image is projected, and the position of the pattern image which is re-imaged on one-dimensional line sensor or the like may be detected so as to obtain the positional displacement value in the Z direction is also applicable. In this method, a plane parallel for calibration is not necessary, and an electric offset may be used. At least one measurement point may be set for each of at least two pattern areas (including a scribe line and the like) the levels of which are different in the short area. However, for example, when a plurality of measurement points are set in the respective pattern areas, and when offset values  $\Delta a$  to  $\Delta e$  are obtained, the plurality of measurement points are processed in a statistical or an averaging, or weighted-averaging method for each area, and when autofocus is performed, the obtained offset value is applied to one measurement point for each area and the detection output signal at that measurement point may be used. In short, when there exists a plurality of measurement points in one pattern area, it is not necessary to obtain offset values for the respective measurement points and to perform autofocus so as to fit all of the shot surfaces with the respective image planes at each of the plurality of measurement points, so that an offset value at least one measurement point may be obtained for each pattern area and autofocus may be performed using the measurement point.

[0074]

Next, in the oblique incident type AF system (the focus position detecting system) shown in Fig. 4 of this embodiment, light having a wavelength to which the photoresist on the wafer W is not or less sensitive is used as the illumination light IL for detecting the focus. Further, in the photoresist, thin film interference occurs due to the incident light beam and, therefore, when the light beam is a monochromatic light, there are cases where the intensity of the reflected light becomes very faint due to the thickness of the photoresist. Then, in order to reduce the adverse effect by the thin film interference, it is desirable to use the light beam having a band-pass width more than 100 nm as the illumination light IL. More specifically, as an illumination light IL, the light beam can be used which has a wavelength width such as 700 nm to 900 nm, which has been selected from the light beam illuminated from a halogen lamp through the wavelength selecting filter. And, the illumination light may be used which has the wavelength width about 700 nm to 900 nm from a light emitting diode.

Further, a plurality of monochromatic lights, which can be obtained by mixing light beams from a plurality of semiconductor laser elements or the like, may be used as the illumination light IL.

[0075]

However, when a light beam having predetermined wavelength width or having a plurality of wavelength is used as the illumination light IL and the distribution of the light intensity to the wavelength is not uniform, for example, the light intensity of a specific wavelength is strong, there is a danger that the illuminating light is influenced by a thin film interference effect with the specific wavelength. Thus, in order to avoid this effect, as shown in Fig. 4, it is desirable that the optical filter plate 60 for equalizing the distribution of the photoelectric transfer signal for the wavelength is arranged in front of the array sensor 15 of the AF system. In addition, the optical filter plate 60 may be placed at any position between a light source (not shown) for generating the illumination light IL and the array sensor 15.

[0076]

Referring to Fig. 15, a concrete explanation will be given to one example of the characteristics of the optical filter plate 60. First, it is assumed that the distribution of the light intensity  $L_E(\lambda)$  for the wavelength  $\lambda$  of the illumination light IL is generally a V shape as shown in Fig. 15(a). In this case, the distribution of the transmittance  $T(\lambda)$  for the wavelength  $\lambda$  of the optical filter plate 60 is set in a substantial inverted V shape, as shown in Fig. 15(b). However, the transmittance  $T(\lambda)$  is corrected in consideration of the wavelength sensitive characteristics in the array sensor 15.

[0077]

That is, it is presumed that the detection sensitivity (output signal/incident light intensity)  $PSV(\lambda)$  for the wavelength  $\lambda$  in the array sensor 15 increases as the wavelength  $\lambda$  increases, as shown by the dotted line in Fig. 15(c). In this case, the distribution of the light intensity  $L_R(\lambda)$  for the wavelength  $\lambda$  of the light beam, which is received by the array sensor 15 through the optical filter plate 60 is product of the light intensity  $L_E(\lambda)$  and the transmittance  $T(\lambda)$ , so that the distribution of the transmittance  $T(\lambda)$  is set in such a manner that the distribution of the light intensity  $L_R(\lambda)$  slightly decreases as the wavelength  $\lambda$  increases, as shown by the solid line in Fig. 15(c). In this case, the photoelectric transfer signal  $SR(\lambda)$  outputted from the array sensor 15 for the light beam having the wavelength  $\lambda$  is product of the detection sensitivity  $PSV(\lambda)$  and the light intensity  $L_R(\lambda)$ , so that it becomes almost even relative to change in the wavelength  $\lambda$  as shown in Fig. 15(d). With this arrangement, the adverse effect of the thin film interference on the photoresist can be reduced, so that the difference in level on the wafer surface can be measured stably.

[0078]

Moreover, the present invention should not be limited to this, so that various structures can be applied within a limitation which is not beyond the points of the present invention.

[0079]

Effects of the Invention

According to the present invention, arithmetic unit is provided for obtaining offset values for fitting the focusing reference plane on the substrate to the image plane by the projection optical system for each of a plurality of measurement points separately, based on the respective detected signals of the photoelectric detecting device corresponding to the plurality of measurement points and the process structure of the exposure surface of the substrate, therefore, there is an advantage that the respective exposure areas (shot areas) can be fitted to the image planes of the projection optical system and exposed under optimum condition irrespective of irregularity conditions in the respective shot areas on the substrate.

[0080]

Moreover, in the case where the substrate stage is driven so as to move the substrate with the image of the focus-detecting pattern being projected from the focusing projection optical system onto the exposure area of the projective optical system, whereby the detection signals of the photoelectric detecting devices corresponding to the plurality of measurement points which are distributed over the entire surface in the exposure area are obtained respectively; and in the case where the arithmetic unit obtains offset value for fitting the focusing reference plane on the substrate to the image plane by the projective optical system for each of the plurality of measurement points separately, based on the detection signals of the photoelectric detecting device at the measurement points which are distributed over the entire surface and the process structure of the exposure on the substrate the irregular condition of the entire surface in the exposure area on the substrate can be measured rapidly by using an optical system for focus-detecting having a simple structure. Therefore, there is an advantage that, in an optimum condition, the entire surface of the exposure area is fitted to the image plane by the projection optical system so as to be exposed. And, although the surface of a holding tool (such as a wafer holder) for the substrate is not flat, there is a camber in the substrate or there are foreign materials and the like between the substrate and the holding tool, a focusing error caused by the above matters can be prevented. That is, the entire surface of the exposure area and the image plane can be fitted to each other or set in the focal depth.

[0081]

Further, in the case where a light beam having a band-pass width more than 100 nm is used when the pattern image for focus-detecting is projected from the projection optical system onto the exposure area by the projection optical system,

there is an advantage that an adverse effect of the thin film interference in the photosensitive material (photoresist and the like) on the substrate can be reduced. There are cases where the light beam is diverged or diffracted by the irregular edge portion and the like on the substrate, however, if a light beam having wide band-pass is used, there is an advantage that the detection signal having a fine SN ratio can be obtained, even if the light beam of the specific wavelength is weak.

[0082]

Moreover, when the optical filter for making uniform the wavelength sensitive characteristics of the light beam used while the pattern image for focus-detecting is projected is arranged in the optical path from the projection optical system to the plurality of photoelectric detecting devices, for example, in a case where the light beam with a wide band-pass width is used, the distribution of intensity of the detection signal outputted from the photoelectric detecting device relative to the wavelength is substantially flatten. Therefore, the distribution in level of the exposure surface on the substrate can be measured correctly, without an influence of the light having a predetermined wavelength.

[0083]

Next, when the arithmetic unit corrects a desirable value according to the level of the image plane by the projection optical system based on the offset values which are obtained separately at respective plural measurement points, the closed loop control is performed so as to coincide the corrected desirable value with the actually obtained detection signal, whereby the focusing and the leveling can be performed with a high degree of accuracy.

#### Brief Description of the Drawings

Fig. 1

Fig. 1 is a structural view including a partial sectional view showing a detecting mechanism for a best image plane of a projection optical system in one embodiment of a projection exposure apparatus according to the present invention.

Fig. 2

Fig. 2(a) is an enlarged plan view showing an arrangement of a mark on a reference mark plate FM of Fig. 1, and Fig. 2(b) is an enlarged view showing a relation between an image, which is re-imaged on the reference mark plate FM, and the marks.

Fig. 3

Figs. 3(a) and 3(b) are views showing respective changes in level of signals KS outputted from the detecting mechanism in Fig. 1.

Fig. 4

Fig. 4 is a structural view showing an optical system and a control system of a multipoint AF system in the embodiment.

Fig. 5

Fig. 5 is a view showing a slit image projected in an exposure field of a projection optical system PL by means of the multipoint AF system in Fig. 4.

Fig. 6

Fig. 6 is a disassembled perspective view showing a relation between a slit plate 14 and an array sensor 15 in Fig. 4.

Fig. 7

Fig. 7 is a block diagram showing a detailed construction of an array sensor 15, a selector circuit 13, a synchronous wave detection circuit 17 and a main control system 30 in Fig. 4.

Fig. 8

Figs. 8(a) and 8(b) are respective explanatory views of offset values introduced in this embodiment.

Fig. 9

Fig. 9 is a block diagram showing a structural example of the calibration value decision part 30E in Fig. 7.

Fig. 10

Figs. 10(a) and 10(b) are respective views showing relations of a detection output signal FS and a signal KS.

Fig. 11

Fig. 11 is a flow chart showing one example of the focus point detection operation and the exposure operation in the embodiment.

Fig. 12

Fig. 12 is a flow chart showing a modified example of operation in Fig. 11.

Fig. 13

Fig. 13 is a view showing a relation between the detection output signal FS and the position in a Z direction.

Fig. 14

Fig. 14 is an enlarged plan view showing a case in which slit images are respectively projected onto the measurement points which distribute two-dimensionally in the shot area on a wafer.

Fig. 15

Fig. 15(a) is a view showing the wavelength characteristics of the illumination light used in the AF system in a modified example according to the present invention; Fig. 15(b) is a view showing the transmittance distribution of the optical filter plate 60 used in the modified example; Fig. 15(c) is a view showing the wavelength characteristics of the light beam received by the array sensor 15, and the wavelength sensitive characteristics of the array sensor 15 and Fig. 15(d) is a view showing the

wavelength characteristics of the photoelectric transfer signal outputted from the array sensor 15.

Description of Symbols

1	slit plate
10	oscillating mirror
12	plane parallel
13	selector circuit
14	slit plate
15	array sensor
17	synchronous detection circuit
R	reticle
PL	projection optical system
W	wafer
20	Z-leveling stage
21	XY stage
30	main control system
30B	correction operation part
30C	deviation detecting part
30F	exposure process data memory part
60	optical filter plate

Fig. 3(a)

Signal level

Chrome plane

Fig. 3(b)

Signal level

Glass plane

Fig. 4

13: Selector

Fig. 7

From OSC16

30D Memory

30E Calibration value determining part

30C Deviation detecting part

30B Correction operation part

30F Exposure process data memory part

Fig. 9

To 30D

To 18

To 22

Fig. 10(a)

Detection output signal FS

Fig. 10(b)

Signal KS

Fig. 11

Start

- 101 Move the center portion of the short area SA to be measured onto the projection area of the slit image ST
- 102 Perform autofocus at the measurement point P3, which is the center of the slit image ST and lock the Z-leveling stage 20 in that state
- 103 Drive the XY stage 21 and move the shot area SA to the measurement starting position
- 104 Drive the XY stage 21, scan the shot area SA with respect to the slit image SA, and store the detection output signals FSa to FSe in the memory in the correction operation part 30B
- 105 Perform classification of the process difference in level in the shot area SA
- 106 Determine a surface to be focused as a focusing reference plane
- 107 Obtain offset values  $\Delta a$  to  $\Delta e$  for the focusing reference plane of the detection output signals Fa to Fe in the measurement points
- 108 Add the offset values  $\Delta A$  to  $\Delta e$  to the offset values BFa to BFe of the detection output signals on the best image plane
- 109 Perform focusing and leveling so that the detection output signals Fa to Fe approaches the sum of the offset values (BFa+ $\Delta a$ ) to (BFe- $\Delta e$ )
- 110 Exposure
- 104A Cause the XY stage 21 to be subject to stepping at a constant pitch and store the detection output signals Fa to Fe in the memory at the constant pitch

Fig. 12

Start

- 111 Drive the XY stage 21 and move the short SA to the measurement starting position
- 112 Perform autofocus and lock the Z-leveling stage 20 in that state  
To Step 104 or to Step 104A

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-37149

(43)公開日 平成8年(1996)2月6日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 01 L 21/027

G 03 B 27/32

G 03 F 7/207

F

H

H 01 L 21/30

526 B

審査請求 未請求 請求項の数5 O.L (全17頁)

(21)出願番号

特願平7-72874

(22)出願日

平成7年(1995)3月30日

(31)優先権主張番号 特願平6-103847

(32)優先日 平6(1994)5月18日

(33)優先権主張国 日本 (JP)

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 今井 裕二

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

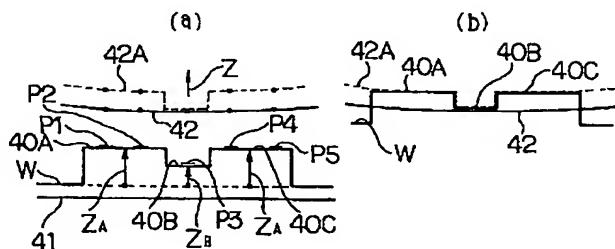
(74)代理人 弁理士 大森 聰

(54)【発明の名称】 投影露光装置

(57)【要約】

【目的】 感光基板の各ショット領域の凹凸の状態に依らず、各ショット領域を最適な状態で投影光学系による結像面に合わせ込んで露光を行う。

【構成】 ウエハWのショット領域上の計測点P1～P5でZ方向の位置検出を行い、検出結果及び予め分かれているプロセス構造のデータより、そのショット領域の凹凸分布を求める。例えばパターン領域40Bに最も線幅の狭いパターンが露光されるときには、そのパターン領域40Bを合焦基準面として、そのパターン領域40Bを基準とした他の領域の段差( $Z_A - Z_B$ )を、オフセットとして最良結像面42の高さに加算する。加算後の結像面42Aに露光面を合致させることにより、パターン領域40Bが最良結像面42に合焦される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 マスクパターンを感光性の基板上に投影する投影光学系と、前記基板を保持して前記投影光学系の光軸に垂直な平面内で前記基板の位置決めを行う基板ステージと、前記基板の傾斜角及び前記基板の前記投影光学系の光軸方向の高さを調整するフォーカス・レベリングステージと、前記感光性の基板に対して非感光性の光を用いて、前記投影光学系の光軸に対して斜めに前記投影光学系による露光領域内の複数の計測点上に焦点検出用のパターンの像を投影する投射光学系と、前記複数の計測点からの反射光を集光して前記複数の計測点上の焦点検出用のパターンの像を再結像する受光光学系と、該受光光学系により再結像された複数の像のそれぞれの横ずれ量に対応した検出信号を生成する複数の光電検出手段と、該複数の光電検出手段からの検出信号に基づいて前記フォーカス・レベリングステージの動作を制御する制御手段と、を有する投影露光装置において、前記複数の計測点に対応する前記光電検出手段のそれぞれの検出信号、及び前記基板の露光面のプロセス構造に基づいて、前記複数の計測点毎に独立に前記基板上の合焦の基準面を前記投影光学系による像面に合わせ込むためのオフセット値を求める演算手段を設けたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項2】 前記投射光学系から前記投影光学系による露光領域内に前記焦点検出用のパターンの像を投影した状態で、前記基板ステージを駆動して前記基板を走らせることにより、前記露光領域内の全面に分布する複数の計測点でそれぞれ対応する前記光電検出手段の検出信号を求め、前記演算手段は、前記全面に分布する複数の計測点での前記光電検出手段の検出信号、及び前記基板の露光面のプロセス構造に基づいて、前記複数の計測点毎に独立に前記基板上の合焦の基準面を前記投影光学系による像面に合わせ込むためのオフセット値を求ることを特徴とする請求項1記載の投影露光装置。

【請求項3】 前記投射光学系から前記投影光学系による露光領域内に前記焦点検出用のパターンの像を投影する際に使用される光束を、100nm以上 の帯域幅を有する光束とすることを特徴とする請求項1又は2記載の投影露光装置。

【請求項4】 前記投射光学系内から前記複数の光電検出手段までの光路上に、前記投射光学系から前記投影光学系による露光領域内に前記焦点検出用のパターンの像を投影する際に使用される光束の波長感度特性を一様化するための光学的フィルタを配置することを特徴とする請求項1、2又は3記載の投影露光装置。

【請求項5】 前記演算手段は、前記複数の計測点毎に独立に求められるオフセット値を用いて、前記投影光学系による結像面の高さに応じた目標値を補正することを特徴とする請求項1、2、3又は4記載の投影露光装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、感光基板上に回路パターン等のマスクパターンを転写する投影露光装置に関し、特に感光基板の焦点合わせのための焦点検出装置を備えた投影露光装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 従来より投影露光装置では、レチクル（又はフォトマスク等）のパターンを高解像力の投影光学系を介して感光基板（フォトレジスト層が塗布されたウエハやガラスプレート等）上に投影露光する際、レチクルのパターンの結像面に正確に感光基板の露光面を合致させる作業、即ち焦点合わせが必須のこととなっている。近年、投影光学系の焦点深度は狭くなる一方で、露光用照明光として波長365nmのi線を用いたものでも、±0.7μm程度の深度しか得られないのが現状である。更に投影光学系の投影視野は年々増大する傾向にあり、広い露光視野（例えば22mm角）の全面に亘って極力大きな焦点深度を確保することが望まれている。

【0003】 このように広い露光視野全面で良好に焦点合わせを行うためには、何れにしろその露光視野内に入る感光基板上の部分領域（ショット領域）の平坦性と、結像面の平坦性（即ち、像面湾曲、及び像面傾斜が小さいこと）とが共に良好であることが要求される。このうち像面湾曲と像面傾斜とに関しては投影光学系自体の光学性能に依存するところが大きいが、その他にレチクルの平面度、平行度が要因になることもある。一方、感光基板上の部分領域、即ち1回の投影露光領域（ショット領域）毎の平坦度は、感光基板によってその程度に差異があるが、感光基板を保持するホルダーを微小量だけ傾けることによって感光基板上のショット領域の表面と結像面とを平行に設定することが可能である。

【0004】 このように感光基板上の1つのショット領域の表面の傾きも考慮して焦点合わせを行う手法として、特開昭58-113706号公報、特開昭55-1348号公報等に開示された技術が知られている。特に特開昭55-1348号公報では投影光学系を介して感光基板上の4点に光ビームのスポットを投射し、その反射光によるスポット像を光電検出して感光基板の焦点合わせ、及び傾き補正（レベリング）を行う技術が開示されている。

【0005】 ところが、最近の半導体素子等は基板上に多くの複雑な構造のパターンを積み重ねて製造されるため、感光基板上の露光面の平坦性は悪くなる傾向にある。そのため、感光基板上のショット領域内の凹凸の状

態を計測し、この計測結果を考慮してそのショット領域の平均的な面を投影光学系による結像面に合わせ込む技術の開発が行われている。例えば、特開平2-198130号公報においては、感光基板の投影光学系の光軸方向の位置を固定してその感光基板を移動させて、感光基板上のショット領域内の複数の計測点で投影光学系の光軸方向の位置（フォーカス位置）を計測し、この計測結果の平均値を求ることにより、そのショット領域内のパターンの構造や配置の相違に起因するフォーカス位置のオフセット値を求める面位置検出方法が開示されている。この方法では、そのオフセット値を各ショット領域の例えは中央の計測点でのフォーカス位置の計測結果に加えることにより、ショット領域内の凹凸を考慮した平均的なフォーカス位置が計測される。

#### 【0006】

【発明が解決しようとする課題】上述のように従来の投影露光装置では、所定のショット領域内の複数の特定の計測点で計測されたフォーカス位置を平均化することにより、フォーカス位置のオフセット値を求めていた。しかしながら、実際には感光基板の各ショット領域の露光面の凹凸の状態は、プロセス構造（パターンの配置や段差等）によって様々であり、特定の複数の計測点でのフォーカス位置を平均化するだけでは、各ショット領域の平均的な面の形状を正確に求めることはできない。そのため、露光プロセスによって、感光基板上の各ショット領域内のパターンの配置や段差等が変化すると、各ショット領域の平均的な面を投影光学系の結像面に対して焦点深度の範囲内に収めることができない場合が生ずるという不都合がある。

【0007】また、各ショット領域の平均的な面を結像面に合わせ込むのではなく、例えば各ショット領域内で最も線幅が狭いパターンが露光される領域を重点的に合焦させたいような場合でも、従来の方法ではその重点的に合焦させたい領域を結像面に合わせ込むことは困難であった。本発明は斯かる点に鑑み、感光基板の各ショット領域の凹凸の状態に依らず、各ショット領域を最適な状態で投影光学系による結像面に合わせ込んで露光を行うことができる投影露光装置を提供することを目的とする。

#### 【0008】

【課題を解決するための手段】本発明による投影露光装置は、マスクパターン（R）を感光性の基板（W）上に投影する投影光学系（PL）と、その基板を保持して投影光学系（PL）の光軸（AX）に垂直な平面内でその基板の位置決めを行う基板ステージ（21）と、その基板の傾斜角及びその基板の投影光学系（PL）の光軸方向の高さを調整するフォーカス・レベリングステージ（20）と、その感光性の基板に対して非感光性の光を用いて、投影光学系（PL）の光軸（AX）に対して斜めに投影光学系（PL）による露光領域（SA）内の複

数の計測点（P1～P5）に焦点検出用のパターンの像（ST）を投影する投射光学系（1～6）と、それら複数の計測点からの反射光を集光してそれら複数の計測点上の焦点検出用のパターンの像を再結像する受光光学系（7～10）と、この受光光学系により再結像された複数の像のそれぞれの横ずれ量に対応する検出信号を生成する複数の光電検出手段（15, 13, 17）と、これら複数の光電検出手段からの検出信号（FSA～FSe）に基づいてフォーカス・レベリングステージ（20）の動作を制御する制御手段（30, 18）と、を有する投影露光装置において、それら複数の計測点での対応する光電検出手段の検出信号、及び基板（W）の露光面のプロセス構造（パターンの配置、段差等）に基づいて、それら複数の計測点毎に独立に基板（W）上の合焦の基準面（40B）を投影光学系（PL）による結像面（42）に合わせ込むためのオフセット値を求める演算手段（30B）を設けたものである。

【0009】この場合、その投射光学系から投影光学系（PL）による露光領域（SA）内にその焦点検出用のパターンの像（ST）を投影した状態で、基板ステージ（21）を駆動して基板（W）を走らせることにより、露光領域（SA）内の全面に分布する複数の計測点でそれぞれ対応する光電検出手段の検出信号を求める演算手段（30B）は、その全面に分布する複数の計測点でのその光電検出手段の検出信号、及びその基板の露光面のプロセス構造に基づいて、それら複数の計測点毎に独立にその基板上の合焦の基準面（40B）を投影光学系（PL）による結像面（42）に合わせ込むためのオフセット値を求めることが望ましい。

【0010】また、その投射光学系から投影光学系（PL）による露光領域（SA）内に焦点検出用のパターンの像（ST）を投影する際に使用される光束（IL）を、100nm以上の帯域幅を有する光束とすることが望ましい。また、その投射光学系内からそれら複数の光電検出手段までの光路上に、その投射光学系から投影光学系（PL）による露光領域内に焦点検出用のパターンの像（ST）を投影する際に使用される光束の波長感度特性を一様化するための光学的フィルタ（60）を配置することが望ましい。

【0011】更に、演算手段（30B）は、それら複数の計測点毎に独立に求められたオフセット値を用いて、投影光学系（PL）による結像面（42）の高さに応じた目標値を補正することが望ましい。

#### 【0012】

【作用】斯かる本発明によれば、例えば図8（a）に示すように、基板（W）上の投影光学系による露光領域内の複数の計測点（P1～P5）上に焦点検出用のパターンの像が投影され、これらの像が受光光学系により再結像され、再結像された像の横ずれ量に対応する検出信号（FSA～FSe）が光電検出手段（例えば図7のアレ

イセンサー15中の画素)から出力される。斜入射方式では、それら再結像される像の横ずれ量と、対応する計測点の投影光学系(PL)の光軸方向の位置(フォーカス位置)とはほぼ比例するため、それら検出信号から対応する計測点のフォーカス位置(これらをZ<sub>1</sub>～Z<sub>5</sub>とする)が求められる。

【0013】しかし、実際には、図8(a)に示すように、基板(W)の露光面にはそれまでの露光工程等により凹凸のあるパターンが形成されていることがある。また、そのような凹凸が有る場合、最も線幅の狭いパターンが露光される面(例えば周辺部より窪んだ面であることが分かっている)を面(40B)とすると、この面(40B)を結像面(42)に合わせることが望ましい。この際に、例えば計測点(P3)で計測された検出信号の値(フォーカス位置)が最も小さいことから、その計測点(P3)が面(40B)上にあることが分かる。そこで、その面(40B)を基板(W)上の合焦の基準面として、プロセス構造のデータに基づいてその基準面(40B)と他の露光面(40A, 40C)との高さの差分(Z<sub>A</sub>−Z<sub>B</sub>)に対応する検出信号を他の計測点(P1, P2, P4, P5)でのオフセット値とする。また、計測点(P3)でのオフセット値は0である。

【0014】その後、例えば実際に検出された検出信号からそのオフセット値を差し引いた値に基づいて合焦及びレベリングを行うと、図8(b)に示すように、基準面(40B)が結像面(42)に合焦される。また、基板(W)上の複数の計測点(P1～P5)が例えば図5に示すように、露光領域(SA)のほぼ対角線上に配列されている場合には、それら計測点(P1～P5)上の焦点検出用のパターンの投影像に対して基板(W)を所定方向(X方向)に走査することにより、その露光領域(SA)のほぼ全面に分布する計測点での検出信号が得られる。従って、その露光領域(SA)の全面に複雑な凹凸分布があるような場合でも、その凹凸分布の表面の所定の部分(例えば最も線幅の狭いパターンが露光される領域)を基準面として、この基準面と他の部分との高さの差分に対応する検出信号を各計測点でのオフセット値とする。これにより、その基準面を合焦させることができる。

【0015】次に、その合焦及びレベリングを行うための手順の他の例は、例えば図8(a)において、先ず光電検出手段による検出信号、及びプロセス構造に基づいて、基準面(40B)から他の面(40A, 40C)への高さの差分(Z<sub>A</sub>−Z<sub>B</sub>)に応じたオフセット値を求め、このオフセット値を結像面(42)の高さに応じた検出信号のレベルに加算することである。この加算結果に対応する面は破線で示すような面(42A)となる。そこで、例えば最小自乗法により、各計測点(P1～P5)の検出信号とその面(42A)の検出信号との差分

が最小になるように基板(W)の高さを制御することにより、図8(b)に示すように、基準面(40B)が実際の結像面(42)に合焦される。

【0016】また、その投射光学系から投影光学系(PL)による露光領域(SA)内に焦点検出用のパターンの像(ST)を投影する際に使用される光束(IL)を、100nm以上の帯域幅を有する光束とした場合、感光性の基板(W)上の感光材料(フォトレジスト等)での薄膜干渉の悪影響等が軽減される。また、投射光学系内からそれら複数の光電検出手段までの光路上に、その投射光学系から投影光学系(PL)による露光領域内に高さ検出用のパターンの像(ST)を投影する際に使用される光束の波長感度特性を一様化するための光学的フィルタ(60)を配置した場合には、焦点検出用の照明光の波長毎の光強度分布が例えば図15(a)のように不均一であっても、その光強度分布とほぼ逆の特性となるように、その光学的フィルタ(60)の透過率分布を例えば図15(b)のように設定することにより、光電検出手段から得られる検出信号の波長特性は図15(d)に示すように平坦になる。従って、特定の波長の信号に大きく影響されることなく、正確に高さ検出を行うことができる。

【0017】

【実施例】以下、本発明による投影露光装置の一実施例につき図面を参照して説明する。図1は本実施例の投影露光装置のうち、投影光学系のベストフォーカス面(結像面)を検出する TTL(スルー・ザ・レンズ)方式の焦点検出系を示す図である。図1において、実デバイス製造用の回路のパターン領域PAが下面に形成されたレチクルRは、不図示のレチクルホールダーに保持されている。絞り面(瞳面)EPを挟んで前群、後群に分けて模式的に表した投影光学系PLの光軸AXは、レチクルRの中心、すなわちパターン領域PAの中心を、レチクルパターン面に対して垂直に通っている。その光軸AXに平行にZ軸を取り、Z軸に垂直な平面内で図1の紙面に平行にX軸を、図1の紙面に垂直にY軸を取る。

【0018】投影光学系PLの下方には、フォトレジストが塗布されたウエハWを保持するZ・レベリングステージ20が、XYステージ21上に設けられている。Z・レベリングステージ20は、ウエハWを光軸AX方向に微少量(例えば±100μm以内)だけ移動させてフォーカシングを行うと共に、ウエハWの傾斜角を制御してレベリングを行う。また、XYステージ21はウエハWを光軸AXと垂直なXY平面内で2次元移動させるものであり、XYステージ21のX方向及びY方向の座標は不図示のレーザ干渉計により常時計測されている。

【0019】更に、Z・レベリングステージ20の上面には、ウエハWの表面とほぼ等しい高さ位置で基準マーク板FMが固定されている。この基準マーク板FMには、図2(a)に示すようにそれぞれX方向に伸びた複

数本の透過型スリットをY方向に一定ピッチで配置した構造のスリットマークISyと、Y方向に伸びた複数本の透過型スリットをX方向に一定ピッチで配置した構造のスリットマークISxと、X方向及びY方向の夫々に對して45°となる方向に斜めに伸びたスリットマークISAとが形成されている。これらのスリットマークISx、ISy、ISAは、石英製の基準マーク板FMの表面全面にクロム層（遮光層）を蒸着し、そこに透明部として刻設したものである。

【0020】図1に戻り、基準マーク板FMの下方（Z・レベリングステージ20の内部）には、ミラーM1、照明用対物レンズ50、及び光ファイバー51の射出端が設けられ、光ファイバー51の射出端からの照明光が対物レンズ50によって集光されて、基準マーク板FM上のスリットマークISx、ISy、ISAと共に裏側から照射する。光ファイバー51の入射端側にはビームスプリッタ52が設けられ、レンズ系53を介して露光用照明光IEが光ファイバー51に導入される。その照明光IEはレチクルRの照明用の光源（水銀ランプ、エキシマレーザ光源等）から得るのが望ましいが、別に専用の光源を用意してもよい。但し、別光源にするときは、露光用照明光と同一波長、又はそれに極めて近い波長の照明光にする必要がある。

【0021】また、対物レンズ50による基準マーク板FMの照明条件は、パターン投影時の投影光学系PLでの照明条件と極力合わせられる。即ち、投影光学系PLの像側の照明光の開口数（N.A.）と対物レンズ50から基準マーク板FMへの照明光の開口数（N.A.）とをほぼ一致させるのである。さて、このような構成で、照明光IEを光ファイバー51に導入すると、基準マーク板FM上のスリットマークISx、ISy、ISAからは投影光学系PLへ入射する像光束が発生する。図1において、Z・レベリングステージ20の光軸AX方向の位置は、投影光学系PLの最良結像面（レチクルとの共役面）Foから僅かに下方に基準マーク板FMの表面が位置するように設定されているものとする。このとき基準マーク板FM上的一点から発生した像光束L1は投影光学系PLの瞳面EPの中心を通り、レチクルRのパターン面から僅かに下方へずれた面Fr内で集光した後に発散し、レチクルRのパターン面で反射してから元の光路を戻る。ここで面Frは、投影光学系PLに関して基準マーク板FMと光学的に共役な位置にある。投影光学系PLが両側テレセントリック系であると、基準マーク板FMのスリットマークISx、ISy、ISAからの像光束は、レチクルRの下面（パターン面）で正反射して再びスリットマークISx、ISy、ISAと重畳するように戻ってくる。

【0022】但し、図1のように基準マーク板FMが結像面Foからずれていると、基準マーク板FM上には各スリットマークISx、ISy、ISAのぼけた反射像

が形成され、基準マーク板FMが結像面Foと一致しているときは、面FrもレチクルRのパターン面と一致することになり、基準マーク板FM上には各スリットマークISx、ISy、ISAのシャープな反射像がそれぞれのマークに重畳して形成されることになる。図2

（b）は基準マーク板FMがデフォーカスしているときのスリットマークISxとその反射像IMxとの関係を模式的に表したものである。両側テレセントリックな投影光学系PLでは、このように反射像IMxは自身の源であるスリットマークISx上に投射される。そして基準マーク板FMがデフォーカスしていると、反射像IMxは、スリットマークISxの形状寸法よりも大きくなり、且つ単位面積当りの照度も低下する。

【0023】そこで基準マーク板FM上にできる反射像のうち、元のスリットマークISx、ISy、ISAで遮光されなかつた像部分の光束をミラーM1、対物レンズ50を介して光ファイバー51に導き、光ファイバー51から射出された光束をビームスプリッタ52、レンズ系54を介して光電センサ55で受光する。光電センサ55の受光面は投影光学系PLの瞳面（フーリエ変換面）EPとほぼ共役な位置に配置されている。図1の構成においては、Z・レベリングステージ20を上下方向（Z方向）に移動させるだけで投影光学系PLの結像面を決定するためのコントラスト信号を得ることができる。

【0024】図3（a）及び（b）はそれぞれ光電センサ55の出力信号KSの信号レベル特性を表し、横軸はZ・レベリングステージ20のZ方向の位置、即ち基準マーク板FMの光軸AX方向の高さ位置を表す。また、図3（a）はスリットマークISx、ISy、ISAがレチクルRのパターン面内のクロム部分に逆投影されたときの信号レベルを示し、図3（b）はそれらスリットマークがパターン面内のガラス部分（透明部分）に逆投影されたときの信号レベルを示す。通常、レチクルのクロム部分は0.3～0.5μm程度の厚みでガラス（石英）板に蒸着されており、クロム部分の反射率は当然のことながらガラス部分の反射率よりは格段に大きい。しかしながら、ガラス部分での反射率は完全に零ということはないので、図3（b）のように信号レベルとしてはかなり小さくなるが、ガラス部分でも検出は可能である。また、一般に実デバイス製造用のレチクルは、パターン密度が高いために、スリットマークISx、ISy、ISAの全ての逆投影像がレチクルパターン中のガラス部分（透明部分）に同時にかかる確率は極めて少ないと考えられる。

【0025】何れの場合にしろ、基準マーク板FMの表面が最良結像面Foを横切るように光軸AXの方向に移動されると、Z方向の位置Zoで出力信号KSのレベルが極大値となる。従って、Z・レベリングステージ20のZ方向の位置と出力信号KSとを同時に計測し、出力

信号K Sのレベルが極大となったときのZ方向の位置を検出することで、最良結像面F oの位置が求まり、しかもこの検出方式ではレチクルR内の任意の位置で最良結像面F oの検出が可能となる。従って、レチクルRが投影光学系P Lの物体側にセットされてさえいれば、いつでも投影視野内の任意の位置で絶対フォーカス位置（最良結像面F o）が計測できる。また、先に述べたようにレチクルRのクロム層は0.3~0.5 μm厚であり、この厚みによって生じる最良結像面F oの検出誤差は、投影光学系P Lの投影倍率を1/5（縮小）とすると、 $(0.3 \sim 0.5) \times (1/5)^2$ 、即ち0.012~0.02 μmとなり、これはほとんど無視できる値である。

【0026】次に図4を参照して本実施例の斜入射光式のAF系（焦点位置検出系）について説明するが、ここでは多点AF系を採用するものとする。多点AF系とは投影光学系P Lの投影視野内の複数箇所に、ウエハWの光軸方向の位置ずれ（所謂焦点ずれ）を計測する測定点を設けたものである。図4において、ウエハW上のフォトレジストに対して非感光性の照明光I Lはスリット板1を照明する。そしてスリット板1のスリットを通った光は、レンズ系2、ミラー3、絞り4、投光用対物レンズ5、及びミラー6を介してウエハWを斜めに照射する。このとき、ウエハWの表面が投影光学系P Lの最良結像面F oにあると、スリット板1のスリットの像がレンズ系2、及び対物レンズ5によってウエハWの表面に結像される。また、対物レンズ5の光軸とウエハ表面との角度は5~12°位に設定され、スリット板1のスリット像の中心は、投影光学系P Lの光軸AXがウエハWと交差する点に位置する。

【0027】さて、ウエハWで反射されたスリット像の光束は、ミラー7、受光用対物レンズ8、レンズ系9、振動ミラー10、及び平行平面板（プレーンパラレル）12を介して受光用スリット板14上にスリット像を再結像する。振動ミラー10は受光用スリット板14上にできるスリット像を、その長手方向と直交する方向に微小振動させるものであり、プレーンパラレル12はスリット板14上のスリットと、ウエハWからの反射光によるスリット像の振動中心との相対関係を、スリットの長手方向と直交する方向にシフトさせるものである。そして振動ミラー10は発振器（OSC）16からの駆動信号でドライブされるミラー駆動部（M-DRV）11により振動される。

【0028】こうして、スリット像が受光用スリット板14上で振動すると、スリット板14を透過した光束は、アレイセンサー15で受光される。このアレイセンサー15は、スリット板14のスリットの長手方向を複数の微小領域に分割し、各微小領域毎に個別の受光画素を配列したものであり、光電変換素子としてはシリコン・フォトダイオード又はフォトトランジスタ等が使用さ

れる。アレイセンサー15の各受光画素からの信号は、セレクター回路13を介して選択、又はグループ化されて、同期検波回路（PSD）17に供給される。この同期検波回路17には、発振器16からの駆動信号と同じ位相の交流信号が供給され、この交流信号の位相を基準として同期整流が行われる。

【0029】このとき、同期検波回路17はアレイセンサー15の中から選ばれた複数の受光画素の各出力信号を個別に同期検波するために、複数の検波回路を備え、その各検波出力信号FSは主制御ユニット（MCU）30に供給される。各検波出力信号FSは、所謂Sカーブ信号と呼ばれ、受光用スリット板14のスリット中心とウエハWからの反射スリット像の振動中心とが一致したときに零レベルとなり、ウエハWがその状態から上方に変位しているときは正のレベル、ウエハWが下方に変位しているときは負のレベルになる。従って、検波出力信号FSが零レベルになるときのウエハWの露光面（例えば表面）の高さ位置が合焦点として検出される。但し、このような斜入射方式では、合焦点（検波出力信号FSが零レベル）となったウエハWの高さ位置が、いつでも最良結像面F oと必ず一致しているという保証はない。即ち、斜入射方式ではその系自体で決まる仮想的な基準面を有し、その仮想的な基準面にウエハWの露光面が一致したときに同期検波回路17からの検波出力信号FSが零レベルになるのであって、仮想的な基準面と最良結像面F oとは装置製造時等に極力一致するよう設定されてはいるが、長期間に亘って一致しているという保証はない。そこで、図4中のプレーンパラレル12を主制御ユニット30による制御のもとで傾けて、仮想的な基準面を光軸AX方向に変位させることで、その仮想的な基準面と最良結像面F oとの一致（又は位置関係の規定）を図ることができる。

【0030】また、主制御ユニット30は、図1の光電センサー55からの出力信号KSを入力して、斜入射方式の多点AF系をキャリブレーションする機能、プレーンパラレル12の傾きを設定する機能、多点AF系の各検波出力信号FSに基づいてZ・レベリングステージ20の駆動用モータ19を駆動する駆動部（Z-DRV）18へ指令信号DSを出力する機能、及びXYステージ21を駆動するための駆動部（モータとその制御回路とを含む）22を制御する機能等を備えている。

【0031】図5は、投影光学系P Lの投影視野I fと、多点AF系からのスリット像STとの位置関係をウエハWの表面上で見た図である。投影視野I fは一般に円形であり、レチクルRのパターン領域PAのパターン像が投影されるショット領域SAは、その円形内に含まれる矩形となっている。スリット像STは、XYステージ21の移動座標軸でもあるX軸及びY軸のそれぞれに對して45°程度傾けてウエハW上に投影される。従つて、投光用対物レンズ5及び受光用対物レンズ8の両光

軸A F xのウエハWへの射影は、スリット像STと直交した方向に伸びている。更に、スリット像STの中心は、光軸AXとほぼ一致するように定められている。このような構成で、スリット像STは、ショット領域SA内で出来るだけ長く伸びるように設定される。

【0032】一般にショット領域SAには、それまでの露光工程等により凹凸を有する回路パターンが形成されている。この場合、デバイス製造のプロセスを経る度に、その凹凸の状態の変化量が増大し、スリット像STの長手方向においても、その凹凸の状態が大きく変化することがある。特に1つのショット領域内に複数のチップパターンを配置する場合、各チップパターンを分離するためのスクライブラインがショット領域内にX方向又はY方向に伸びて形成されることとなり、スクライブライン上の点とチップパターン上の点との間には、極端な場合で2μm以上の段差が生じることもある。スリット像ST内のどの部分にスクライブラインが位置するかは、設計上のショット配列やショット内のチップサイズ等によって予め分かるので、スリット像STの長手方向の任意の部分からの反射光が回路パターン、又はスクライブラインの何れからの反射光であるのかは認識できる。

【0033】図6は、受光用スリット板14とアレイセンサー15とを分離した状態を示し、この図6において、スリット板14はガラス基板上にクロム層（遮光膜）を全面に蒸着し、その一部にエッチングにより透明なスリットを形成したものである。このスリット板14を、保持フレーム14A上に固定し、この保持フレーム14Aを、アレイセンサー15を保持するセラミックス等のプリント基板15A上に例えば不図示のねじを用いて固定する。これによって、スリット板14のスリットはアレイセンサー15の一次元の受光画素の配列と平行になって密着される。このようにスリット板14とアレイセンサー15とは極力密着又は近接させた方が良いが、スリット板14とアレイセンサー15との間に結像レンズ系を設け、スリット板14とアレイセンサー15とを光学的に共役にしてもよい。なお、先の図6で示したスリット像STのウエハW上での長さは、投影視野Ifの直径によっても異なるが、投影光学系PLの倍率が1/5（縮小）で、投影視野Ifの直径が32mm前後である場合、その投影視野Ifの直径の1倍～1/3倍程度にするのが望ましい。

【0034】さて、図7は、アレイセンサー15、セレクター回路13、同期検波回路17、及び主制御ユニット30の具体的な回路構成の一例を示し、この図7において、セレクター回路13は5個のセレクター回路13A～13Eより構成され、同期検波回路17も5個の同期検波回路17A～17Eより構成されている。そして、アレイセンサー15の受光画素を5つのグループG a～G eに分け、各グループ内からセレクター回路13

によりそれぞれ1つの受光画素を選択する。この場合、グループG a～G eは、それぞれ図5のスリット像STに沿った5つの計測点P1～P5の前後のスリット像を検出する。また、一例として、ここではセレクター回路13A～13Eにおいて、計測点P1～P5上のスリット像を受光する受光画素の検出信号を選択するものとする。

【0035】具体的に、図7において、アレイセンサー15の受光画素のグループG a内には複数個の受光画素が含まれ、セレクター回路13Aによってそれら受光画素内で計測点P1上の像を検出する受光画素を選択し、この受光画素の出力信号を同期検波回路17Aに供給する。なお、セレクター回路13Aは、グループG a内の受光画素の内任意の1つを選択してその出力信号を同期検波回路17Aに送る機能の他に、グループG a内の隣接する2つ、又は3つの受光画素を任意に選び、それらの出力信号を加算した信号を同期検波回路17Aへ送る機能をも備えている。同様に、グループG b～G e中の各受光画素からの出力信号もそれぞれセレクター回路13B～13E内で選択され、選択された出力信号がそれぞれ同期検波回路17B～17Eへ供給される。

【0036】同期検波回路17A～17Eは、それぞれ発振器16からの基本波交流信号を受け取って検波出力信号F Sa～F Seを出力する。これらの検波出力信号F Sa～F Seは、主制御ユニット30内のアナログ/デジタル変換器（ADC）30Aでそれぞれデジタルデータに変換されて補正演算部30B、及び偏差検出部30Cに供給される。補正演算部30Bには、露光プロセスデータ記憶部30Fより当該ウエハのプロセス構造に関するデータ（露光面の凹凸分布、及び凹凸の段差のデータを含む）も供給されると共に、記憶部30Dより信号較正用のオフセット値も供給されている。そして、補正演算部30Bは、一例として5つの検波出力信号の値、即ちウエハ上の5点でのフォーカスずれ量、及びプロセス構造に関するデータ等に基づいて、ウエハ上の各計測点のZ方向での目標位置に対応する検波出力値を算出し、その値を偏差検出部30Cに供給する。この偏差検出部30Cは、補正演算部30Bからの出力値とADC30Aからの検波出力値との偏差を検出し、この偏差を少なくするような指令信号DSを図4の駆動部18に供給する。

【0037】より具体的に、偏差検出部30Cでは、例えば補正演算部30Bからの目標とする検波出力信号とADC30Aからの検波出力信号F Sa～F Seとの偏差の自乗和が最小になるように、即ち最小自乗法により、駆動部18を制御する。これにより、Z・レベリングステージ20のZ方向の位置、及び傾斜角が制御されて、図5の計測点P1～P5の平均的な面が投影光学系PLの結像面に合致するように合焦が行われる。

【0038】なお、図5では計測点P1～P5が1直線

上に配列されているため、制御される傾斜角はウエハWの表面でスリット像STに垂直な直線を軸とする傾斜角のみである。ウエハW上の表面の直交する2軸の回りの傾斜角を制御するには、それら計測点P1～P5を2次元的に配列する（例えば複数のパターン像を平行に並べるか、あるいは互いに交差させるように形成する）か、又は後述のようにウエハW上のショット領域SAをスリット像STに対して所定の方向に走査して、そのショット領域SAの全面での高さ分布を計測すればよい。

【0039】また、図7において、記憶部30Dに予め記憶されているオフセット値は、較正值決定部30Eによって計測、算出されるものであり、較正值決定部30Eは5つの検波出力信号FSa～FSe、及び光電センサ55の出力信号KSより、多点AF系の仮想的な基準面とベストフォーカス面FOとの偏差を、検波出力上の零レベルからの偏差電圧として求める。較正值決定部30E内には、5つの検波出力のそれぞれのレベルと信号KS（図3参照）とを同時にデジタルサンプリングするためのアナログ/デジタル変換器、及び波形メモリ等も含まれている。

【0040】ここで図9を参照して、較正值決定部30Eの具体的な構成例を説明する。先ず TTL（スルーブル・ザ・レンズ）方式の絶対フォーカス検出系の光電センサ55からの出力信号KSは、アナログ/デジタル変換器（ADC）300に入力され、その信号レベルに対応したデジタル値に変換されてメモリとしてのRAM301に記憶される。このRAM301のアドレス指定は、カウンタ304によって行われるが、カウンタ304の計数、及びADC300の変換タイミングは何れもクロックジェネレータ（CLK）303からのクロックパルスに同期している。同様に、5つの検波出力信号FSa～FSeの1つが、選択スイッチ308を介してADC305に供給され、ここで変換されたデジタル値はカウンタ307によってアドレス指定されるRAM306に記憶される。従って、RAM301、306には、それぞれ出力信号KS、及び選択された1つの検波出力信号の時間的に変化する波形が取り込まれる。これらRAM301、306内の波形は、演算処理部310でスムージング、及び極大値検出等を行う際の処理データとして使用される。

【0041】なお、演算処理部310は、RAM301、306に信号波形を取り込むために、Z・レベリングステージ20のZ方向への等速移動を制御するための信号を駆動部18へ出力すると共に、多点AF系の各計測点の位置に図2(a)のスリットマークISx、ISy、ISAの中心を移動させるための駆動信号を図4のXYステージ用の駆動部22へ出力する。

【0042】図10(a)は、1つの検波出力信号FSの変化特性を示し、Z・レベリングステージ20をZ方向にベストフォーカス面を含む一定範囲内で等速移動さ

せたときにRAM306に格納される波形データに対応する。また、図10(b)はそのときにRAM301内に格納される信号KSの波形を表す。同期検波信号は零点を中心にはば点対称な波形になるため、零点よりも小さな負レベルのデータについては、負レベルも考慮してアナログ/デジタル変換される。

【0043】図9のRAM301内には、図10(b)に示す極大値を取る信号KSの波形が時間tに対応するアドレスに格納されるので、演算処理部310は、その波形を解析して極大点が得られた時点T1を求める。次に、演算処理部310は、RAM306内の時点T1に対応するアドレスポイントを求め、このアドレスポイントに記憶されている検波出力信号FSのレベル△FSを求める。このレベル△FSは、検波出力信号FS上の零点からのオフセット電圧であり、この図10(a)のような検波出力を発生する多点AF系の測定点では、検波出力が+△FSになるようにその測定点でのウエハ表面をZ方向に移動させると、そのウエハ表面とベストフォーカス面FOとが合致することになる。

【0044】ところで、図9の回路を使うときには、図4のXYステージ21を移動させて、基準マーク板FM上のスリットマークの中心が多点AF系の各測定点の何れか1つの位置に来るよう位置決めされる。その位置決めはそれ程厳密である必要はなく、多点AF系の測定点とスリットマーク群の中心とが、X方向及びY方向に100μm前後ずれっていてもよい。従って、多点AF系の測定点、即ち図5に示したスリット像ST内の測定点P1～P5が決まつたら、それらの測定点を中心に±100μm程度の範囲でスリットマーク群の位置をX方向及びY方向にずらすと共に、Z方向に振って、信号KSのピークがある程度大きくなる座標位置を求めてよい。また、これは確率的には極めて小さいが、スリットマーク群の全てがレチクルRの透過部に一致してしまう不都合（信号KSのSN比の低下）となるべく避けるためである。但し、較正動作を高速に行うときは、信号のピークが大きくなる座標位置をサーチしなくとも、ほぼ同等の精度でオフセット値△FSを求めることが可能である。また、そのオフセット値は各測定点P1～P5毎に求められる。

【0045】このようにして、図5の各計測点P1～P5がそれぞれZ方向で投影光学系PLによる最良結像面の位置に合致するときの検波出力信号FSa～FSeの値、即ちその最良結像面でのオフセット値BFa～BFcが求められる。図5において、ショット領域SAを例えばX方向にスリット像STに対して走査してショット領域SAの全面に分布する計測点で検波出力信号を求める際にも、各計測点でのオフセット値はそのようにして求めたオフセット値BFa～BFc内の何れかの値である。

【0046】次に、本実施例における合焦及び露光動作

の一例につき図5、図8、図11、及び図12を参照して説明する。この場合、前提として、図5の各計測点P1～P5をそれぞれ投影光学系PLの結像面に合焦させた場合の検波出力信号FSa～FSeの値、即ち多点AF系の仮想的な基準面に対する結像面のオフセット値BFa～BFcは予め計測されているものとする。なお、図4のプレーンパラレル12の回転角を調整すれば、それらオフセット値BFa～BFcはほぼ0にすることができる。ここでもそれらオフセット値BFa～BFcは0に近い値である。また、XYステージ21を駆動した際のZ・レベリングステージ20の走り面と投影光学系PLの最良結像面とは実質的に平行であるとみなす。

【0047】先ず、図11のステップ101において、XYステージを駆動して図5に示すように、計測対象（露光対象）のショット領域SAの中央部を斜入射多点AF系からのスリット像STの投影領域上に移動する。その後、ステップ102において、スリット像STの中心の計測点P3でオートフォーカスを行う。即ち、計測点P3に対応する検波出力信号FScが最良結像面のオフセット値BFcになるようにZ・レベリングステージ20のZ方向の高さを調整し、この状態でZ・レベリングステージ20をロックする。従って、これ以後は計測が終了するまでZ・レベリングステージ20の高さ、及び傾斜角は一定である。このように一度オートフォーカスを行うのは、ショット領域SA内の凹凸の分布が多点AF系の検出範囲から外れるのを防止するためである。

【0048】但し、本実施例ではステップ102においてスリット像STの中心の計測点P3でオートフォーカスを行う代わりに、ショット領域SA内部又は近傍に基準面となる平面がある場合は、この平面にてオートフォーカスを行ってもよい。このときの計測点はP3である必要はなく、この平面に最も近い計測点を選択してもよい。また、露光プロセスデータを用いてオートフォーカスを行うべき計測点を決定するようにしてもよい。要は計測点P3である必要はなく、多点AF系のスリット像STでウエハを走査するときに、その走査範囲内のどの点であっても多点AF系によって検出されるフォーカス位置のずれ量がその検出範囲（Sカーブによって決まる）から外れなければよい。

【0049】次に、ステップ103において、XYステージ21を駆動して、図5に示すようにショット領域SAをスリット像STの-X方向に手前側の計測開始位置SBに移動させた後、ステップ104において、XYステージ21を駆動して、スリット像STに対してX方向にショット領域SAを走査し、補正演算部30B内のメモリに各検波出力信号FSa～FSeを格納する。この際、XYステージ21の座標はレーザ干渉計により計測されているため、そのメモリ内でレーザ干渉計で計測される座標に対応するアドレスに順次検波出力信号FSa～FSeを格納していけばよい。その後、ステップ105において、得られた検波出力信号FSa～FSe（それぞれ時系列の信号となっている）に基づいてショット領域SA内のプロセス段差の分類を行う。

【0050】具体的に、図8(a)はウエハW上のそのショット領域SA内の或る断面を示し、この断面上に計測点P1～P5が設定されている。なお、実際にはウエハW上にはフォトレジストが塗布されているが、フォトレジストは省略してある。図8(a)において、多点AF系の仮想的な基準面41上に各計測点P1～P5が来ると、対応する検波出力信号FSa～FSeがそれぞれ0となる。また、投影光学系PLの最良結像面42はその仮想的な基準面41からは或る程度外れているものとしている。この場合、ウエハW上には既に複数層の回路パターンが形成され、それに応じてその表面は凹凸となっている。そのため、各計測点P1～P5で得られる検波出力信号をFSa～FSeとすると、これら検波出力信号の値もその凹凸に応じた値となっている。

【0051】例えばウエハW上の凸部のパターン領域40A上に計測点P1、P2が位置し、凹部のパターン領域40B上に計測点P3が位置し、凸部のパターン領域40C上に計測点P4、P5が位置しているものとすると、計測点P3での検波出力信号FScの値が最も小さくなる。これをを利用して、本実施例の図7の補正演算部30Bは、隣接する計測点に対応する検波出力信号の差分を求めるにより、当該ショット領域の凹凸分布を求める。また、補正演算部30Bには、露光プロセスデータ記憶部30Fからプロセス構造に関するデータも供給されているため、補正演算部30Bは、上述のように求めた凹凸分布と、そのプロセス構造との比較より計測点P1～P5が位置するパターン領域40A～40Cを識別できる。

【0052】これにより、例えば各パターン領域40A～40Cが、メモリセル部、周辺回路部（ロジック部）、又はスクライブライン等の何れに属するのかが判別される。また、補正演算部30Bは、供給されたデータより、各パターン領域40A、40Cの段差Z<sub>A</sub>、及びパターン領域40Bの段差Z<sub>B</sub>を認識できる。これらの段差はウエハWの回路パターンの無い部分からの高さであるが、後述のようにこれらの段差の差分だけが問題となる。

【0053】また、前記隣接する計測点間での差分データにより得た段差情報より、各々の段差領域内の検波出力信号について分散等（ばらつき）を求めるることにより、各段差領域内のパターン密度の違い等による段差を知ることができる。これにより計測点P1～P5の前後で安定した計測点を求める事もできる。次に、ステップ106において、ショット領域SA上で合焦させたい部分の面を合焦基準面として決定する。例えば図8(a)において、計測点P3が位置するパターン領域4

OB上に最も線幅の狭いパターンが露光されるものとして、パターン領域4OBを合焦基準面とする。但し、ショット領域SA内で最も広い（面積が大きい）パターン領域（例えばパターン領域4OA）を合焦基準面とする場合も有り得る。合焦基準面は、ショット領域内のパターン領域毎の合焦の優先度（パターン線幅、ピッチ等に応じて定まる）に従って選択、決定すればよい。

【0054】その後、ステップ107において、計測点P1～P5における検波出力信号Fa～Feに対するオフセット値 $\Delta a$ ～ $\Delta e$ を求める。図8(a)において、検波出力信号からZ方向への変位への変換係数をkとすると、合焦基準面であるパターン領域4OB上の計測点P3における検波出力信号Fcに対するオフセット値 $\Delta c$ は0である。また、計測点P1, P2, P4, P5における検波出力信号Fa, Fb, Fd, Feに対するオフセット値 $\Delta a$ ,  $\Delta b$ ,  $\Delta d$ ,  $\Delta e$ は、それぞれ( $Z_A - Z_B$ ) / kとなる。

【0055】次に、ステップ108において、補正演算部30Bは、図8(a)の最良結像面42での検波出力信号のオフセット値BFa～BFeに、ステップ107で求めたオフセット値 $\Delta a$ ～ $\Delta e$ を加算する。これは、実線で示す最良結像面42を点線で示すような仮想的な段差を含む最良結像面42Aに変換するのと等価であり、その仮想的な最良結像面42Aに対してパターン領域4OA～4OCを合焦させることになる。

【0056】即ち、ステップ109において、補正演算部30Bは、仮想的な最良結像面42Aの検波出力信号、即ち(BFa +  $\Delta a$ )～(BFe +  $\Delta e$ )を偏差検出部30Cに供給する。また、偏差検出部30Cには実際のパターン領域4OA～4OCに対応する検波出力信号Fa～Feがリアルタイムで供給されている。そこで、偏差検出部30Cが、Z・レベリングステージ20用の駆動部18に対して、例えば最小自乗法を利用して、オフセット値(BFa +  $\Delta a$ )～(BFe +  $\Delta e$ )と検波出力信号Fa～Feとの偏差の自乗和が最小になるような駆動信号を供給する。これにより、図8(b)に示すように、合焦基準面であるパターン領域4OBは、実際の最良結像面42に合致する。その後、ステップ110で露光を行うことにより、最も線幅の狭いパターンが高い解像度で露光される。

【0057】このとき、パターン領域4OB以外のパターン領域4OA, 4OCは投影光学系の焦点深度内に設定されるが、前述のステップ107においてオフセット値 $\Delta a$ ～ $\Delta e$ が焦点深度を超えるときには、例えばオフセット値 $\Delta a$ ～ $\Delta e$ に重み付けを行ってパターン領域4OA, 4OCが焦点深度内に入るように合焦基準面を見掛け上Z方向にシフトさせるようにしてもよい。これは、ショット領域の全面が焦点深度内に入っている場合にも適用可である。また、単純にパターン領域4OA, 4OCが焦点深度の幅内に入るように、合焦基準面（パ

ターン領域4OB）をシフトさせてもよい。

【0058】なお、上述の実施例では図7に示すように、偏差検出部30Cで目標値と実際の検波出力信号とを比較する方式であるため、目標値である最良結像面42に段差のオフセット値 $\Delta a$ ～ $\Delta e$ を加算していた。しかしながら、図7において実際の検波出力信号にオフセット補正を行って偏差検出部30Cに供給する方式を探るときには、実際の検波出力信号からそれらオフセット値 $\Delta a$ ～ $\Delta e$ を差し引けばよい。

【0059】なお、実際には、図5のショット領域SAの全面に分布する計測点での検波出力信号が得られ、ショット領域SAの全面での凹凸分布が識別される。しかしながら、図7においてADC30Aからリアルタイムで供給される検波出力信号は図5のスリット像ST上の5点での検波出力信号のみである。また、スリット像ST上のデータを用いるのみでは、スリット像STに平行な軸の回りの傾斜角の補正ができない。そこで、そのスリット像STに平行な軸の回りのウエハWの傾斜角の補正は一例としてオープンループで行う。即ち、ショット領域SAをスリット像STに対して走査することにより、図8(a)に示すように、仮想的な最良結像面42Aの検波出力信号と、実際のパターン領域での検波出力信号とが求められる。そこで、予め、図4の駆動部18の制御量とZ・レベリングステージ20の傾斜角の関係とを求めておき、実際のパターン領域での検波出力信号と仮想的な最良結像面42Aの検波出力信号との差分を打ち消す量だけZ・レベリングステージ20の傾斜角を制御する。これにより、オープンループ制御で、図5のショット領域SAの全面に分布する最も線幅の狭いパターンが露光されるパターン領域が全体として投影光学系PLの最良結像面に合焦される。

【0060】なお、図11のステップ104において、ステップ104Aで示すように、XYステージ21をX方向に一定ピッチでステッピングさせて、そのXYステージ21が停止する毎に、即ちその一定ピッチで検波出力信号Fa～Feをモメリに格納するようにしてもよい。この方法により、XYステージ21の動きに伴う空気の揺らぎの影響が低減されるという効果がある。

【0061】また、図11のステップ101～102の動作の代わりに、図12のステップ111及び112のようにしてもよい。即ち、このステップ111では、まずXYステージ21を駆動して、図5に示すように、ショット領域SAを計測開始位置SBに移動させる。その後、ステップ112において、図5のスリット像STの中央の計測点P3でオートフォーカスを行って、Z・レベリングステージ20のフォーカス位置をロックする。その後、図11のステップ104又は104Aに移行してショット領域SAの全面での検波出力信号のサンプリングを行う。その後の処理は図11の動作と同じである。この図12のシーケンスでは、ウエハステージ21

の動作に無駄がなく計測が効率的に行われる。

【0062】なお、上述実施例では、図4においてXYステージ21を駆動した際のZ・レベリングステージ20の走り面と投影光学系PLの最良結像面とがほぼ平行であるとみなしていた。これに対して、Z・レベリングステージ20の走り面と投影光学系PLの結像面とが平行でない場合には、次のような補正動作が必要となる。即ち、XYステージ21を駆動したときのZ・レベリングステージ20の走り面と投影光学系PLの結像面との偏差（像面傾斜、湾曲等）を装置定数として例えば補正演算部30B内のメモリに持つようにする。この場合、例えば図11のステップ104の方法で求めた検波出力信号は、Z・レベリングステージ20の走り面を基準とした計測結果を示しているので、その計測結果に装置定数として記憶している結像面との偏差量を加算してやればよい。

【0063】また、上述実施例では図5に示すように、ウエハW上の1つのショット領域SAで凹凸分布を求めており、ウエハW上の他のいくつか（1つ以上）のショット領域でも同じ計測を行って、得られた検波出力信号を平均化し、平均化して得られた結果とプロセス構造との比較からウエハ上の各ショット領域内の凹凸分布を求めてよい。これにより、フォトレジストの塗布むらの影響等が軽減される。

【0064】次に、上述実施例では図5に示したようにウエハW上の所定のショット領域SA内でZ方向の位置検出を行っていたが、ウエハWの全面で例えばショット領域の配列ピッチの整数分の1のピッチでZ方向の位置検出を行ってもよい。具体的に、ショット領域のX方向への配列ピッチが $P_x$ であれば、X方向でのフォーカス位置計測の間隔は、2以上の整数Nを用いて $P_x/N$ となる。このとき、ショット領域の配列ピッチと同じ周期で、多点AF系からの検波出力信号の出力変化が繰り返される。

【0065】この場合、ウエハの露光面に塵等の異物があるか、又はウエハに反り等による形状変化があると、そのショット領域での多点AF系の出力変化が他のショット領域での出力変化と異なる。そこで、検波出力信号をショット領域の配列ピッチに対応する周期でサンプリングした値の平均値からの偏差が、所定の閾値以上となっているショット領域に対しては、合焦基準面に対する検波出力信号のオフセット量を別に算出することが望ましい。また、この様な異物や反り等の影響が表されているショット領域に対しては、警告またはエラーとしてアシスト処理（オペレータコール）等の処理を行っても良い。

【0066】次に、上述実施例ではSカーブ状に変化する検波出力信号FSよりウエハWの露光面のZ方向の位置（フォーカス位置）を計測している。図13の曲線44は、その検波出力信号FSの一例を示し、この図13

において、従来は曲線44の内で直線45でほぼ近似できる区間を用いて、検波出力信号FSからZ方向の位置を求めていた。しかしながら、これではZ方向での位置検出範囲が狭いという不都合がある。そこで、位置検出範囲を広くするため、例えば図4のZ・レベリングステージ20を移動ピッチ $\Delta Z$ でZ方向に移動させたときの検波出力信号FS（実際にはFSa～FSeのそれぞれについて計測する）をメモリに記憶させておく、即ち、図13の曲線44を近似的に求めておくのが望ましい。この場合、Z方向の位置に対して検波出力信号FSの値が記憶される。

【0067】そして、実際にZ方向の位置計測を行う際には、検波出力信号FSの値が $V_i$ であれば、曲線44からZ方向の位置 $Z_i$ が正確に求められる。これに対して、曲線44を直線45で近似した場合には、検波出力信号が $V_i$ のときのZ方向の位置は $Z_h$ となり誤差が生ずる。次に、上述実施例では、実際の計測結果に基づいてZ・レベリングステージ20の傾斜角の制御を行っている。しかしながら、投影光学系PLの結像面のXYステージ21の走り面に対する傾斜角は予め既知であるので、その傾斜角を予めZ・レベリングステージ20で行っておくようにしてもよい。これにより、多点AF系でZ方向の位置検出を行った場合に、傾斜角のずれ量が少なくなり、各計測点毎に算出されるオフセット値が小さくなる。従って、合焦に要する時間が短縮されると共に、合焦精度も向上する。

【0068】また、上述実施例では、図4に示すように多点AF系の受光系に配置されたプレーンパラレル12の傾斜角により、多点AF系の仮想的な基準面と最良結像面との位置関係を調整できるようになっている。これは、検波出力信号FSa～FSeに共通に現れるオフセット値はそのプレーンパラレル12の傾斜角で除去できることを意味する。

【0069】ところが、受光系側にのみプレーンパラレル12を設けたものでは補正量が少ないので、送光系側にもプレーンパラレルを配置してもよい。このように2枚のプレーンパラレルで結像位置を補正することにより、結像位置の補正量を大きくできる。しかも、送光系及び受光系の双方にプレーンパラレルを入れて補正することにより、ウエハ上での明暗パターンの位置ずれをも補正できる。

【0070】なお、多点AF系の送光系にプレーンパラレルを配置し、例えば図11のステップ109でこのプレーンパラレルを用いて共通のオフセット補正を行うと、ステップ104で検波出力信号を計測したときと、ステップ109で検波出力信号を計測するときとで、ウエハW上のスリット像STの位置ずれが生ずる。そこで、この位置ずれの影響を低減させるためには、プレーンパラレルの傾斜角に対するウエハW上のスリット像STの位置ずれ量を予め測定しておき、ステップ109

で各計測点に対応して最良結像面のオフセット値に付加するオフセット量を、その予め測定しておいた位置ずれ量に基づいて補正すればよい。

【0071】次に、上述実施例では、図5に示すように、ウエハW上のショット領域SAに対して対角線方向に斜めにZ方向の位置検出用のスリット像STが投影され、このスリット像ST上の5点が計測点P1～P5として選択されている。これに対して、図14に示すように、ショット領域SA上に、X方向及びY方向に所定ピッチで2次元的にN個（図14ではNは25）の計測点P11, P12, …, P74を設定し、これら計測点にそれぞれ焦点検出用のパターン像を投影してもよい。この場合、各パターン像を受光する受光素子（受光画素）の個数も計測点と同じ個数になり、例えば同期検波方式を採用する場合、全ての計測点からのパターン像の光電変換信号を並行して処理するには困難である。そこで、例えば図7に示すようなセレクター回路13A～13Eを用いて、それらN個の光電変換信号から5個ずつの光電変換信号を選択し、時分割的に同期検波を行うようにしてもよい。このような時分割方式により、回路構成が簡略化される。

【0072】また、焦点検出を行うのに、スリット像を投影する代わりに、例えば所定ピッチの格子状のパターン像をウエハ上に斜めに投影するようにしてもよい。この場合、そのウエハからの反射光を用いて、例えば2次元CCD等の2次元の撮像素子上にその格子状のパターン像を再結像し、再結像された像の横ずれ量から対応するウエハの露光面でのZ方向への位置ずれ量が求められる。

【0073】また、スリット像を投影して例えば1次元のラインセンサ上での再結像されたパターン像の位置を検出してZ方向への位置ずれ量を求める方式でもよい。この方式ではキャリブレーション用のブレーンパラレルを設けなくてもよく、常に電気的なオフセットを用いるようにすればよい。ショット領域内の高さが異なる少なくとも2つのパターン領域（スクライブライン等を含む）の各々に少なくとも1つの計測点を設定すればよいが、例えば各パターン領域に複数の計測点を設定し、オフセット値 $\Delta a \sim \Delta e$ を求めるときは領域毎にその複数の計測値を統計処理又は平均化又は加重平均化処理して、オートフォーカス動作時には領域毎にその求めたオフセットを1つの計測点に与えてその計測点での検波出力信号を用いるようにしてもよい。要は、1つのパターン領域内に複数の計測点があるとき、各計測点毎にそのオフセットを求める必要はなく、また複数の計測点の各々で全てショット面と結像面とを合わせるようなオートフォーカス動作を行わなくてもよく、パターン領域毎に少なくとも1つの計測点でのオフセットを求め、当該計測点を用いてオートフォーカス動作を行えばよい。

【0074】次に、上述実施例の図4に示す斜入射方式

のAF系（焦点位置検出系）では、焦点検出用の照明光ILとして、ウエハW上のフォトトレジストに対して非感光性、又は感光性の弱い波長域の光が使用されている。更に、フォトトレジストでは、入射する光束による薄膜干渉が生ずるため、特にその光束が単色光の場合にはそのフォトトレジストの厚さによって反射される光の強度がかなり弱くなることがある。そこで、その薄膜干渉の影響を軽減するためには、その照明光ILとして100nm以上の帯域幅を有する光束を使用することが望ましい。具体的に、照明光ILとしては、ハロゲンランプから照射される光束より波長選択フィルタにより選択された、例えば700nm～900nm程度の波長域の光束が使用できる。また、発光ダイオードからの700nm～900nm程度の波長域内の照明光を使用してもよい。更に、例えば複数個の半導体レーザ素子からの光束を混合して得られる複数個の単色光を照明光ILとしてもよい。

【0075】但し、照明光ILとして所定の波長域、又は複数波長の光束を使用した場合、波長に対する光強度の分布が均一でなく、例えば特定の波長の光強度が強いと、その特定の波長で薄膜干渉の影響を受ける恐れがある。そこで、それを避けるためには、図4に示すように、AF系のアレイセンサー15の前に、波長に対する光電変換信号の分布を均一化するための光学フィルタ板60を配置することが望ましい。なお、その光学フィルタ板60は、照明光ILを発生する不図示の光源とそのアレイセンサー15との間のどの位置に配置されていてもよい。

【0076】図15を参照して、具体的にその光学フィルタ板60の特性の一例につき説明する。先ず、照明光ILの波長入に対する光強度 $L_E(\lambda)$ の分布が図15(a)に示すように山型であるとする。この場合、光学フィルタ板60の波長入に対する透過率 $T(\lambda)$ の分布は、図15(b)に示すように、ほぼ谷型に設定する。但し、透過率 $T(\lambda)$ はアレイセンサー15における波長感度特性を考慮して補正してある。

【0077】即ち、例えばアレイセンサー15における波長入に対する検出感度（出力信号/入射する光強度） $PSV(\lambda)$ が、図15(c)の点線で示すように右上がりとなっているものとする。この場合、光学フィルタ板60を通過してアレイセンサー15で受光される光束の波長入に対する光強度 $L_R(\lambda)$ の分布は、光強度 $L_E(\lambda)$ と透過率 $T(\lambda)$ との積であるため、その光強度 $L_R(\lambda)$ の分布が図15(c)の実線のように多少右上がりの特性となるように透過率 $T(\lambda)$ の分布を定めておく。このとき、波長入の光束に対してアレイセンサー15から出力される光電変換信号 $SR(\lambda)$ は、検出感度 $PSV(\lambda)$ と光強度 $L_R(\lambda)$ との積であるため、図15(d)に示すように波長入に対してほぼ平坦な特性となる。これにより、フォトトレジストにおける薄膜干渉

の悪影響を低減することができ、安定にウエハの表面の段差計測を行うことができる。

【0078】なお、本発明は上述実施例に限定されず本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。

【0079】

【発明の効果】本発明によれば、複数の計測点に対応する光電検出手段のそれぞれの検出信号、及び基板の露光面のプロセス構造に基づいて、複数の計測点毎に独立に基板上の合焦の基準面を投影光学系による像面に合わせ込むためのオフセット値を求める演算手段を設けたため、基板の各ショット領域の凹凸の状態に依らず、各露光領域（ショット領域）を最適な状態で投影光学系による結像面に合わせ込んで露光を行うことができる利点がある。

【0080】また、投射光学系から投影光学系による露光領域内に焦点検出用のパターンの像を投影した状態で、基板ステージを駆動して基板を走らせることにより、露光領域内の全面に分布する複数の計測点でそれぞれ対応する光電検出手段の検出信号を求める、演算手段が、その全面に分布する複数の計測点での光電検出手段の検出信号、及び基板の露光面のプロセス構造に基づいて、複数の計測点毎に独立に基板上の合焦の基準面を投影光学系による像面に合わせ込むためのオフセット値を求める場合には、簡単な構成の焦点検出用の光学系を使用して、基板の露光領域の全面の凹凸の状態を迅速に計測できる。従って、その露光領域の全面を最適な状態で投影光学系による結像面に合わせ込んで露光を行うことができる利点がある。また、基板の保持具（ウエハホルダ等）の平坦度が悪くても、基板の反りがあっても、基板と保持具との間に異物等があっても、それらに起因する合焦エラーも防止できる。すなわち、露光領域の全面を結像面と合致ないし焦点深度内に設定できる。

【0081】更に、投射光学系から投影光学系による露光領域内に焦点検出用のパターン像を投影する際に使用される光束を100nm以上の帯域幅を有する光束とした場合には、感光性の基板上の感光材料（フォトレジスト等）での薄膜干渉の悪影響が軽減される利点がある。更に、その基板上の凹凸のエッジ部等により光束が散乱、又は回折があるが、広帯域の光束を使用したときには、たとえ特定の波長の光束が弱くなってしまも、全体としてS/N比の良好な検出信号を得ることができる利点がある。

【0082】また、投射光学系内から複数の光電検出手段までの光路上に、焦点検出用のパターン像を投影する際に使用される光束の波長感度特性を一様化するための光学的フィルタを配置したときには、例えば広帯域の光束を使用した場合に、それら光電検出手段から出力される検出信号の波長に対する強度分布がほぼ平坦化されている。従って、特に所定の波長の光に影響されることな

く、正確に基板の露光面の高さ分布を計測することができる。

【0083】次に、演算手段が、複数の計測点毎に独立に求められたオフセット値を用いて、投影光学系による結像面の高さに応じた目標値を補正する場合には、この補正後の目標値と実際に得られる検出信号とが合致するような閉ループ制御を行うことにより、高精度にフォーカシング及びレベリングを行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による投影露光装置の一実施例における投影光学系の最良結像面の検出機構を示す一部断面図を含む構成図である。

【図2】(a)は図1の基準マーク板FM上のマーク配置を示す拡大平面図、(b)はこの基準マーク板FM上に再結像される像とマークとの関係を示す拡大図である。

【図3】図1の検出機構から出力される信号KSの変化の様子を示す図である。

【図4】実施例の多点AF系の光学系及び制御系を示す構成図である。

【図5】図4の多点AF系で投影光学系PLの露光フィールド内に投影されるスリット像を示す図である。

【図6】図4中のスリット板14とアレイセンサー15との関係を示す分解斜視図である。

【図7】図4中のアレイセンサー15、セレクター回路13、同期検波回路17、及び主制御ユニット30の詳細な構成を示すブロック図である。

【図8】本実施例で導入されるオフセット値の説明図である。

【図9】図7中の補正值決定部30Eの構成例を示すブロック図である。

【図10】検波出力信号FSと信号KSとの関係を示す図である。

【図11】実施例の焦点検出動作及び露光動作の一例を示すフローチャートである。

【図12】図11の動作の変形例を示すフローチャートである。

【図13】検波出力信号FSとZ方向の位置との関係を示す図である。

【図14】ウエハのショット領域上に2次元的に分布する計測点にそれぞれスリット像を投影する場合を示す拡大平面図である。

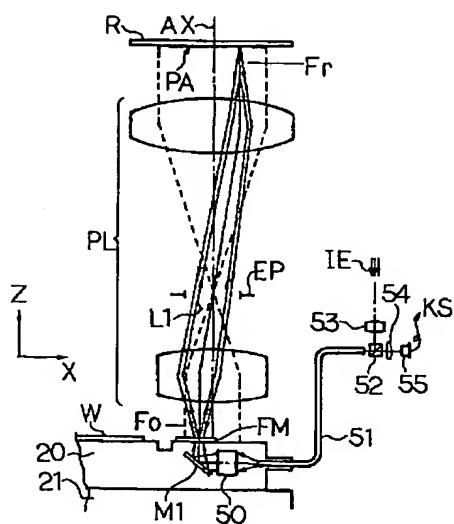
【図15】(a)は本発明の実施例の変形例において、AF系で使用される照明光の波長特性を示す図、(b)はその変形例で使用される光学フィルタ板60の透過率分布を示す図、(c)はアレイセンサー15で受光される光束の波長特性、及びアレイセンサー15の波長感度特性を示す図、(d)はアレイセンサー15から出力される光電変換信号の波長特性を示す図である。

【符号の説明】

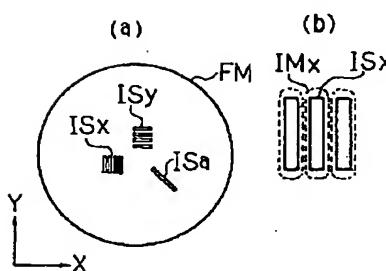
1 スリット板  
 10 振動ミラー  
 12 平行平面板（プレーンパラレル）  
 13 セレクター回路  
 14 スリット板  
 15 アレイセンサー  
 17 同期検波回路  
 R レチクル  
 PL 投影光学系

W ウエハ  
 20 Z・レベリングステージ  
 21 XYステージ  
 30 主制御ユニット  
 30B 補正演算部  
 30C 偏差検出部  
 30F 露光プロセスデータ記憶部  
 60 光学フィルタ板

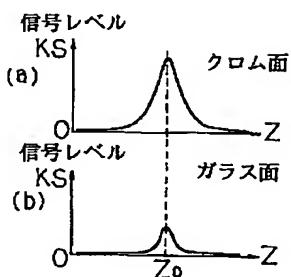
【図1】



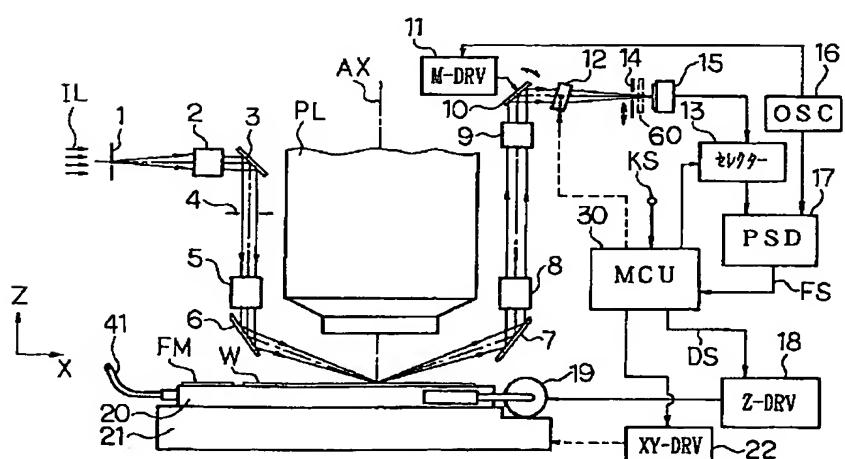
【図2】



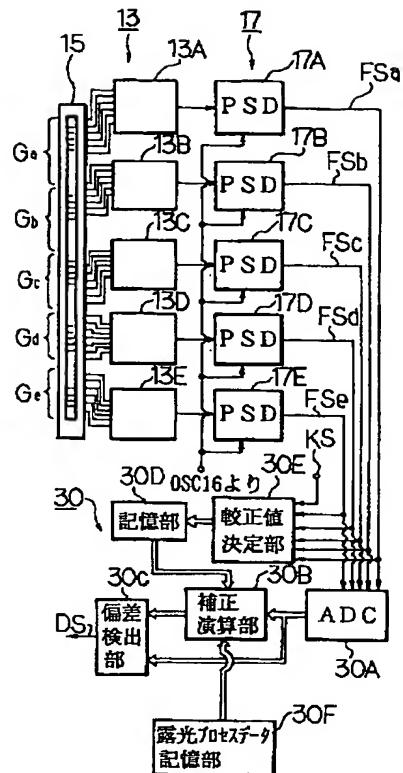
【図3】



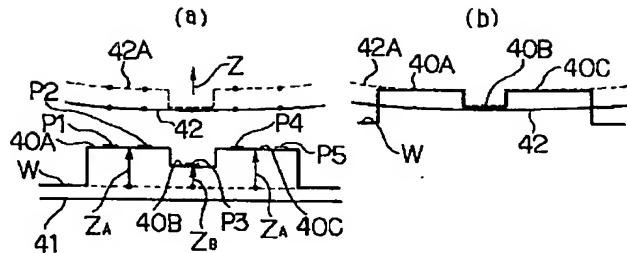
【図4】



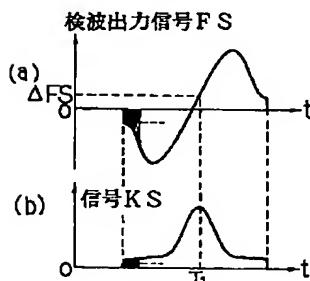
【図7】



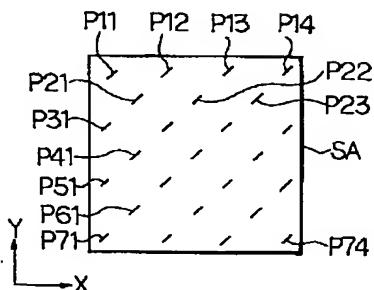
【図8】



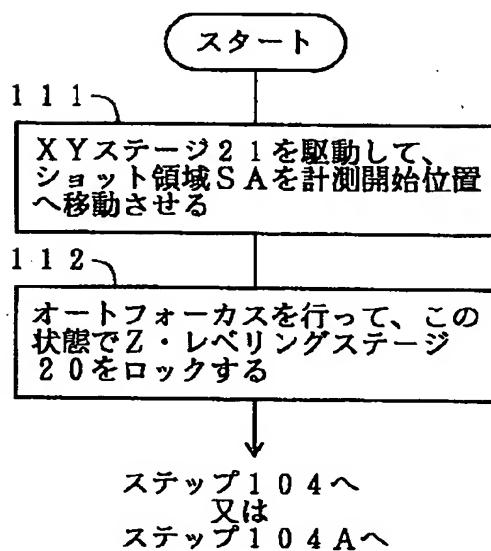
【図10】



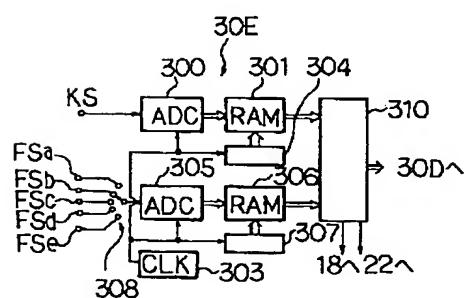
【図14】



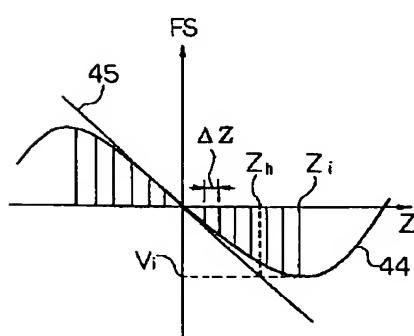
【図12】



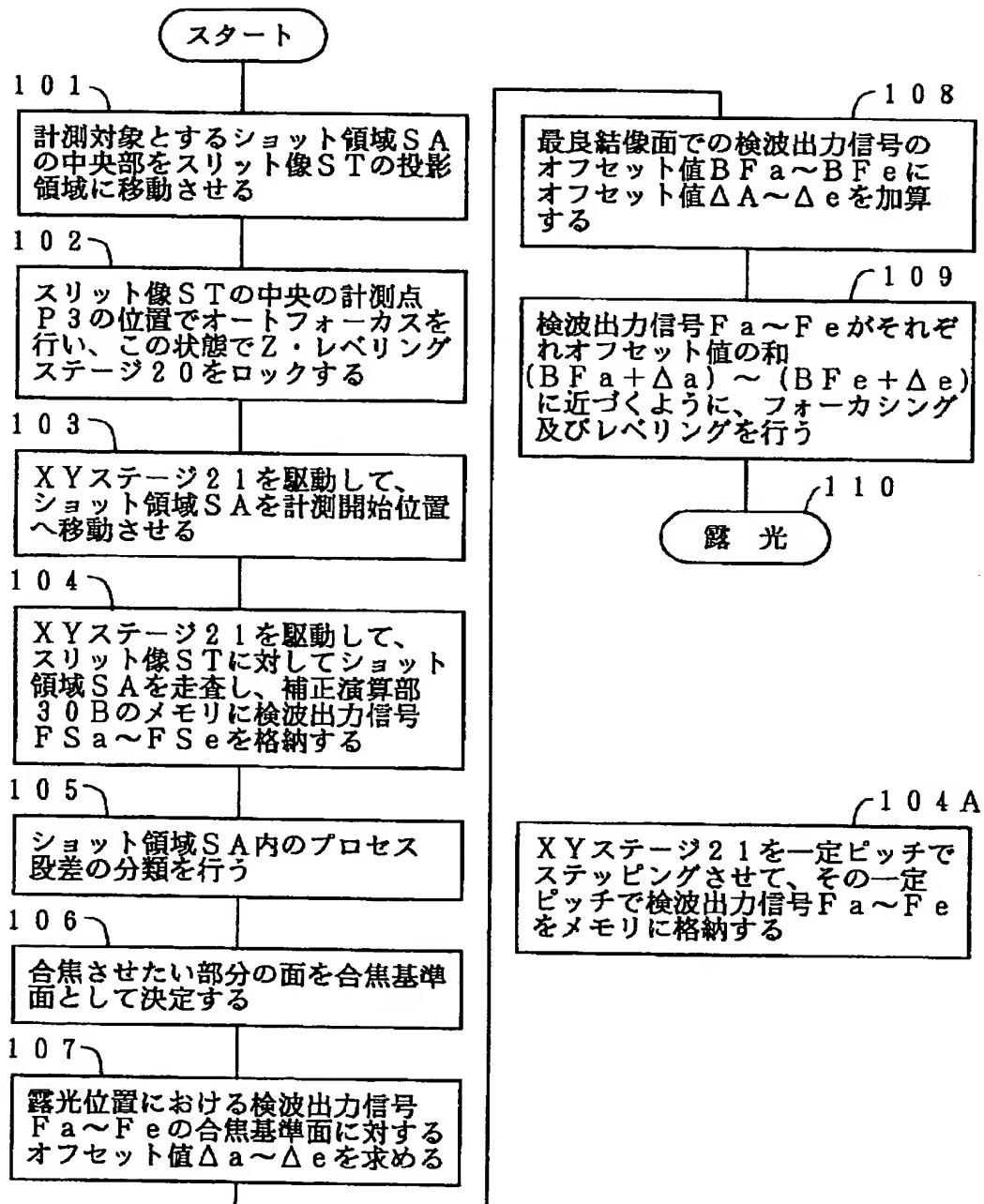
【図9】



【図13】



【図11】



【図15】

